

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FARMACEUTSKO-BIOKEMIJSKI FAKULTET**

**Davor Gretić**

**ANALIZA DOGAĐAJA U TRAGIČNOM SLUČAJU**

---

**SMRTNOG STRADAVANJA DVOJE RADNIKA**

---

**TVRTKE PORTUN FERRUM d.o.o.**

**Specijalistički rad**

**Zagreb, 2016.**

Rad je izrađen u okviru poslijediplomskog specijalističkog studija TOKSIKOLOGIJA, pod stručnim vodstvom prof. dr. sc. Franje Plavšića.

Rad je obranjen dana 06. prosinca 2016. godine na Farmaceutsko-biokemijskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, pred povjerenstvom u sastavu:

1. Dr. sc. Mila Lovrić
2. Prof. dr. sc. Franjo Plavšić
3. Prof. dr. sc. Zdenko Šmit

Rad ima 50 listova.

Posebna zahvala prof. dr. sc. Franji Plavšiću i Hrvatskom zavodu za toksikologiju i antidoping radi organizacije i omogućavanja pohađanja ovog poslijediplomskog studija.

## SAŽETAK

Neobjašnjiv je početak niza događaja koji su doveli do tragičnih posljedica, no sasvim je jasno kako su se i zašto dvojica radnika spustila u garderobu u podrumu zgrade. Presvući se prije odlaska kućama. No vrlo brzo gube svijest i umiru. Nakon ovakvog razvoja događaja, uz policiju i vatrogasce, na mjesto događaja vrlo brzo je stigao djelatnik Gradske plinare koji je detektirao vrlo niske koncentracije kisika na samom ulazu u podrumsku prostoriju, dok su vrijednosti ugljikovog monoksida i metana bilo normalne. Daljnje postupanje temeljilo se na povremenim mjerenjima koncentracije kisika u pojedinim oborinskim šahtovima u neposrednoj blizini objekta. Poziv upućen pripravnosti toksikološke službe uslijedio je iza 17:00 sati, a dolazak toksikologa na mjesto nesreće oko 18:00 sati kad je preuzeta odgovornost za daljnje postupanje. Nažalost, kako sustav za ovakve neočekivane događaje nije bio spreman, a organizacija vođenja intervencije u početnoj fazi bila je izrazito loša, uzorkovanje zraka s ciljem mjerenja koncentracije ugljikovog dioksida i detektiranja eventualno nekakvog trećeg plina obavljeno je tek u kasnim večernjim satima, što zbog uključene prisilne ventilacije i provjetravanja podrumskih prostora više nije imalo smisla.

Razrješavanje ovog slučaja vrlo vjerojatno, iz navedenih razloga, nikada neće biti moguće. Međutim, iz ovog događaja vrijedno je izvući pouku i popraviti propuste u sustavu organizacije vođenja intervencije kako bi se spriječile tragične posljedice u slučaju ovakvih ili sličnih nesreća.

## SUMMARY

The series of events which led up to these tragic consequences are unexplainable, but it is clear that two employees entered their wardrobe located in the basement of the building. They went to change before going home from their shift. Soon they lost consciousness and died. On the scene, under the management of the fire and police departments, employees of Zagreb's gas company detected only very low concentrations of oxygen at the basement entrance, while concentrations of carbon monoxide and methane were within normal limits. A call was made to the preparedness service of the Croatian Institute of Toxicology and Anti-doping around 17:00. Toxicologists were at the scene around 18:00, and took responsibility for further actions. Unfortunately, as systems for such unexpected events were not ready, and the organization of the intervention in early phases was poor, air sampling with the intent of measuring concentrations of carbon monoxide and detecting a possible third gas was done hours after the incident. Due to the compulsory ventilation of the basement area prior to the sampling, the analysis itself actually had no purpose.

Solving this case, given the above mentioned reasons, probably will never be possible. Nevertheless, it is necessary to learn lessons from cases like these and amend errors and oversights in organization systems, as to keep similar accidents from happening in the future.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD I PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Definicija i klasifikacija hipoksije.....</b>	<b>8</b>
1.1.1. Patofiziologija hipoksije.....	9
1.1.2. Klasifikacija hipoksije u kliničkoj praksi.....	9
1.1.2.1. Hipoksična hipoksija.....	11
1.1.2.1.1. Visinska bolest.....	11
1.1.2.2. Anemijska hipoksija.....	12
1.1.2.2.1. Methemoglobinemija.....	12
1.1.2.3. Zastojna (cirkulacijska) hipoksija.....	13
1.1.2.4. Histotoksična hipoksija.....	13
1.1.3. Glavni simptomi hipoksije.....	14
1.1.3.1. Cijanoza.....	14
1.1.3.2. Dispneja.....	15
1.1.4. Kompenzacijski mehanizmi u stanjima hipoksije.....	15
1.1.5. Manifestacija hipoksije na pojedinim organima i tkivima.....	16
<b>1.2. Odlagališni plin i njegove osnovne karakteristike.....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Faze bakterijske razgradnje otpada.....	17
1.2.2. Čimbenici koji utječu na stvaranje odlagališnog otpada.....	19
<b>1.3. Ugljikov dioksid.....</b>	<b>21</b>
1.3.1. Svojstva, izvori i moguća izloženost ugljikovom dioksidu.....	22
1.3.2. Apsorpcija, distribucija, metabolizam, izlučivanje i mehanizam toksičnosti.....	24
1.3.3. Akutna i kronična toksičnost.....	25
1.3.3.1. Akutna toksičnost.....	25
1.3.3.2. Kronična toksičnost.....	26
1.3.4. Granične vrijednosti izloženosti.....	27
1.3.5. Postupci u slučaju izloženosti.....	27

1.3.6. Epidemiologija.....	28
1.3.7. Hrvatski slučajevi.....	29
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>31</b>
<b>3. MATERIJAL I METODE – SUSTAVNI PREGLED SAZNANJA O TEMI.....</b>	<b>32</b>
3.1. Tijek tragičnog događaja.....	32
3.2. Uloga Povjerenstva za nesreće s kemikalijama u razrješavanju slučaja.....	36
3.3. Slučaj obmane javnosti od strane odgovorne osobe tvrtke ANT d.o.o. ....	39
<b>4. RASPRAVA.....</b>	<b>42</b>
4.1. Neka razmatranja o mogućnostima pojave odlagališnih plinova u slučaju smrtnog stradavanja dvoje radnika tvrtke Portun Ferrum d.o.o. ....	44
<b>5. ZAKLJUČCI.....</b>	<b>48</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>49</b>
<b>7. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>50</b>

# 1. UVOD I PREGLED PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

## 1.1. Definicija i klasifikacija hipoksije

Pojam je to koji označava smanjenu opskrbu živih organizama kisikom, a razlozi njezina nastanka mogu biti različiti. Riječ je o patološkom procesu kojeg, s jedne strane, karakterizira nedovoljna opskrba tkiva ili organa kisikom obzirom na trenutne potrebe stanica, a s druge pak strane radi se o nemogućnosti korištenja dostavljenog kisika od strane stanica tkiva što dovodi do njihove promjene u funkcijama, metabolizmu i strukturama. Nasuprot tome, anoksija podrazumijeva potpuni nedostatak kisika, iako se taj termin često puta koristi kao sinonim za hipoksiju. Nije lako točno definirati hipoksiju na staničnoj razini, ali se može opisati kao stanje u kojem je aerobni metabolizam smanjen zbog pada parcijalnog tlaka kisika ( $pO_2$ ) u mitohondrijima. U takvoj situaciji  $pO_2$ , čija vrijednost u zraku iznosi 160 mmHg, pada na otprilike 1 mmHg do trenutka kada dopiše u mitohondrij u stanici. Ispod te vrijednosti nema aerobnog metabolizama [1, 2].

Posljedice hipoksije ovise o:

- vremenu u kojem se razvila
- njenom trajanju
- intenzitetu i obliku hipoksije same po sebi
- osjetljivosti zahvaćenih tkiva.

Kako bi razumjeli patološki mehanizam koji dovodi do hipoksije prethodno je važno pojasniti osnovne vanjske i unutarnje faktore odgovorne za odgovarajuću opskrbu tijela kisikom. To su:

- 1.) dovoljna količina kisika u udahnutom zraku
- 2.) pravilna izmjena plinova u plućima (ventilacija, difuzija i perfuzija)
- 3.) dovoljna količina hemoglobina sposobnog za prijenos kisika
- 4.) pravilno funkcioniranje kardiovaskularnog sustava
- 5.) sposobnost tkiva da koristi kisik (stanično disanje).

Kardiovaskularni sustav (4) integrira različite dijelove sustava: osigurava, uz pomoć respiratornog sustava (2) i crvenih krvnih stanica (3), dostatnu količinu kisika (1) tkivima (5). Jedinstvena struktura i funkcija



hemoglobina omogućava vrlo brzo vezanje kisika u plućima, njegov transport u znatnoj koncentraciji prema tkivima i otpuštanje, kroz vrlo sofisticiran molekularni regulatorni mehanizam, u kapilarama [2].

### 1.1.1. Patofiziologija hipoksije

Unutar stanice, 80% od ukupne količine kisika troše mitohondriji, dok preostalih 20% koriste razne druge unutar stanične strukture. Biokemijske reakcije koje se odvijaju na tim mjestima služe u svrhu biosinteza, biorazgradnji, odnosno detoksifikacijama. Neki enzimi koji sudjeluju u sintezi neurotransmitera imaju nizak afinitet za kisik i njihova funkcija slabi s padom koncentracije kisika. Stoga je dio učinaka koji se javljaju zbog nedostatka kisika usko vezan uz smanjenje dostupnosti neurotransmitera, umjesto na smanjenje stanične energije kao posljedice smanjenja aerobnog metabolizma. Dakle, bilo kakvi poremećaji koji dovode do smanjenja opskrbe tkiva kisikom mogu djelovati na bilo koju od tri faze opskrbe kisikom:

- respiratornu fazu (nedostatna količina kisika, zbog smanjenog udjela kisika u okolišnom zraku, ozbiljne anemije ili toksičnosti zbog zamjene kisika (npr. ugljikovim monoksidom))
- fazu transporta kisika (neadekvatan transport kisika, zbog smanjenog protoka krvi u stanjima šoka: opstruktivni/kardiogeni/hipovolemijski/distributivni šok, zbog ugrušaka prisutnih u pojedinim organima, ili nedostatne cirkulacije na pojedinim mjestima kao posljedice arteriosklerotskih kardiovaskularnih bolesti)
- fazu korištenja kisika od strane tkiva (neučinkovito korištenje kisika na staničnoj razini, zbog promjene u staničnom metabolizmu za dobivanje energije).

Prve dvije faze prevladavaju kod smanjene opskrbe tkiva i organa krvlju u stanjima hipodinamskog šoka zbog čega je opskrba tkiva kisikom vrlo slaba. Takvo stanje šoka uzrokuje sistemske upalne odgovore koji dovode do sepse, ili pogoršava već prisutnu sepsu koja može završiti smrtnim ishodom [1].

### 1.1.2. Klasifikacija hipoksije u kliničkoj praksi

Klasifikacija različitih oblika hipoksija ovisi o prethodno spomenutim vanjskim i unutarnjim faktorima koji dovode do hipoksije. Shodno tome postoje:

**Hipoksična hipoksija** – označava sva hipoksična stanja kod kojih do alveola ne stiže dovoljna količina kisika (poremećaji stanja navedenih pod 1. i 2.). Osnovni razlog tome je smanjena koncentracija ili tlak kisika u udahnutom zraku ili poremećaj disanja.

**Anemijska hipoksija** – obuhvaća sva stanja koja su izazvana smanjenjem transporta kisika hemoglobinom (poremećaj stanja navedenog pod 3.). Riječ je o raznim anemijskim stanjima koja se javljaju zbog nedovoljne količine ili zbog kemijskog oštećenja strukture hemoglobina.

**Zastojna (cirkulacijska) hipoksija** – označava hipoksična stanja izazvana oštećenjem cirkulacije koja ometa dopremanje kisika do stanica i tkiva (poremećaj stanja navedenog pod 4.). Radi se o cjelokupnom ili lokalnom poremećaju cirkulacije uzrokovanu venskim zastojem krvi ili ishemijom zbog začepljenja arterije.

**Histotoksična (tkivna) hipoksija** – označava hipoksična stanja u kojima, i uz dovoljne količine kisika u organizmu, stanice tkiva i organa ne mogu koristiti prisutan kisik zbog oštećenja oksidacijskih enzima u njima izazvanih trovanjem (cijanidima, nekim anestheticima, itd.) ili nedostatkom vitamina B (poremećaj stanja navedenog pod 5.). Za ovakva stanja hipoksije karakterističan je povišen sadržaj kisika u venskoj krvi, jer ga tkiva ne mogu iskoristiti.

Drugi način klasifikacije hipoksije odnosi se na vrijeme njezina nastanka:

U svakodnevnoj medicinskoj praksi najučestalija hipoksija je ona koja se javlja kao popratna značajka kroničnih bolesti dišnog i kardiovaskularnog sustava ili krvi, i zbog toga je proglašavamo **kroničnom hipoksijom**.

**Akutna hipoksija** je vrlo rijetka. Javlja se uz akutni oblik visinske bolesti, zatim u slučaju gušenja, opstrukcije dišnih putova, inhibicije respiratornog centra, akutnog zatajenja srca i šoka. Poseban oblik s pogleda brzine razvoja hipoksije je fulminantna (munjevita) hipoksija. Javlja se npr. prilikom kvara na sustavu za održavanje konstantnog tlaka u kabini aviona na visinama iznad 10 km. U tom slučaju tlak kisika u vanjskom okolišu je niži u odnosu tlak u venskoj krvi te stoga organizam ustvari predaje (otpušta) kisik u vanjski okoliš. Gubitak svijesti u takvim situacijama nastupa vrlo brzo i nakon 1-2 minute dolazi do smrti kao posljedice zatajenja centra za disanje, bez grčeva ili bilo kakvih vidljivih znakova [2].

### 1.1.2.1. Hipoksična hipoksija

Riječ je o najučestalijem obliku hipoksije koju karakterizira smanjenje parcijalnog tlaka kisika u plućnim kapilarama. Javlja se kod niske koncentracije kisika u udahnutom zraku, kod smanjene ventilacije pluća ili u slučaju opsežnih patoloških procesa u dišnom sustavu koji dovode do alveolarno kapilarne blokade. Naime, kod smanjenog parcijalnog tlaka kisika u plućnim kapilarama saturacija, u eritrocitima prisutnog, hemoglobina nije potpuna te zbog toga dolazi do razvoja hipoksemije [2].

Stvarni razlozi nastanka hipoksične hipoksije mogu se podijeliti u dvije grupe:

- 1.) **Nema se što udisati** – na velikim nadmorskim visinama (normalna koncentracija kisika, nizak tlak zraka) ili ukoliko zrak sadrži smanjenu koncentraciju kisika unatoč normalnom tlaku (npr. u podrumima u kojima je prisutan ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) umjesto kisika).
- 2.) **Nema se čime udisati** – poremećaj osnovnih funkcija dišnog sustava zbog bolesti dišnog sustava [2].

#### 1.1.2.1.1. Visinska bolest

Visinska bolest je poseban slučaj hipoksične hipoksije u pojedinim situacijama povezana sa smanjenim atmosferskim tlakom zraka. Patogeneza je neznatno drugačija kad je riječ o planinarenju (postupan pad parcijalnog tlaka kisika i obično veliko fizičko opterećenje) u odnosu na let na velikim visinama (nagli pad parcijalnog tlaka kisika bez prilagodbe). Ovakav opis vrijedi za neuvježbane zdrave osobe. Dobro uvježbane osobe nakon odgovarajuće prilagodbe kao i ljudi koji uobičajeno žive na velikim visinama (npr. stanovnici Himalaje) mogu živjeti i raditi na takvim mjestima bez ikakve dodatne opskrbe kisikom. S druge strane kod osoba s poremećajem dišnog sustava i cirkulacije razvoj simptoma je puno raniji nego kod zdravih pojedinaca.

Prvi simptomi visinske bolesti ponekad se javljaju već na oko 2500 metara nadmorske visine i to u oko 15 % pojedinaca koji su se popeli na tu visinu naglo i bez prilagodbe; simptomi su obično glavobolja, umor, mučnina, otežano disanje i poremećaji spavanja. Kod nekih osoba znakovi edema pluća mogu se razviti nakon 2-3 dana na oko 3000 metara, dok je mogućnost razvoja edem mozga s psihomotornim sindromom moguć na visinama od oko 3500 metara. Većina navedenih simptoma nije uzrokovana hipoksijom ili hipoksemijom već kompenzatornim mehanizmima kao što je cerebralna vazodilatacija zbog koje se javlja glavobolja ili plućna vazokonstrikcija zbog koje dolazi do razvoja edema pluća.

Pojava vrlo opasnog fenomena visinske euforije moguća je čak i kod dobro utreniranih osoba koje su prošle period aklimatizacije. Simptomi su slični onima koji se javljaju kod blagog pijanstva. Zahvaćene osobe u takvim situacijama vrlo često podcjenjuju ozbiljnost situacije (npr. vremenske prilike, poteškoće zbog fizičkog napora), dok istovremeno precjenjuju njihovu vlastitu snagu i sposobnosti. Iznad 5-6 kilometara za svaki slijedeći korak potreban je ogroman trud i psihička volja [2].

### 1.1.2.2. Anemijska hipoksija

Anemijsku hipoksiju karakterizira smanjenja sposobnost krvi da transportira kisik. Za transport kisika u najvećoj mjeri zadužen je hemoglobin u eritrocitima, dok se vrlo mali dio nalazi otopljen u plazmi. Nedostatnu transportnu funkciju hemoglobina može uzrokovati:

- 1.) **Nedovoljna količina hemoglobina** u različitim vrstama anemija
- 2.) **Funkcionalna insuficijencija hemoglobina.** U krvi je prisutna dovoljna količina hemoglobina, međutim njegov kapacitet za transport kisika je blokiran [2].

#### 1.1.2.2.1. Methemoglobinemija

Nakon oksidacije divalentnog željeza i vezanja –OH skupine na hemoglobin nastaje methemoglobin (metHb, HbOH) koji ne može transportirati kisik. U normalnim okolnostima enzim methemoglobin reduktaza (postoje dva oblika spomenutog enzima ovisnih o koenzimima NADH odnosno NADPH) kontinuirano reducira oksidirani hemoglobin zbog čega se u krvi zdravih osoba može naći vrlo mala koncentracija metHb (0,1 – 0,4 % od ukupnog Hb). U krvi okorjelih pušača osim povišene koncentracije karboksihemoglobina (HbCO) povišena je, isto tako, i koncentracija metHb (do 8 %).

Kod pacijenata s manjkom methemoglobin reduktaze (tip I ili II) koncentracija metHb može narasti do vrlo visokih vrijednosti. Kod drugih tipova deficijencije antioksidativnog sustava (npr. kod nedostatka enzima glukoza-6-fosfat dehidrogenaze) dolazi do hemolize eritrocita te posljedično hipoksije čiji uzrok nije methemoglobinemija nego anemija.

Poseban slučaj stečene methemoglobinemije je dojenačka methemoglobinemija, koja se javlja kod djece do 2 mjeseca starosti. Razlog tome je prehrana djece umjetnim ili kravljim mlijekom ako se za pripremu, odnosno razrjeđivanje mlijeka koristi pitka voda u kojoj su prisutne visoke koncentracije nitrata (> 100

mg/l). Ulaskom u probavni sustav djeteta u prisutnosti crijevnih bakterija nitrati se reduciraju u nitrite, a nakon resorpcije u krvotok uzrokuju oksidaciju hemoglobina u metHb te pojavu methemoglobinemije zbog toga što kod tako male djece antioksidativni sustav još uvijek nije u potpunosti razvijen. Problem prisutnosti visokih koncentracija nitrata u vodi za piće i nije toliko novi. On postoji otkako se intenzivno primjenjuju dušična gnojiva na poljoprivrednim površinama u neposrednoj blizini vodocrpilišta, odnosno ukoliko do onečišćenja podzemnih voda dođe zbog neodgovarajuće izgrađenih kanalizacijskih sustava odnosno istjecanja iz septičkih jama. Samo će vrlo visoke koncentracije nitrata u vodi uzrokovati mjerljivu methemoglobinemiju kod odraslih ljudi [2].

### 1.1.2.3. Zastojna (cirkulacijska) hipoksija

Cirkulacijska hipoksija se razvija u slučaju nedovoljne opskrbe tkiva normalno oksigeniranom krvlju. Javlja se u dva oblika i to kao: **totalna i lokalna cirkulacijska hipoksija**.

Totalna cirkulacijska hipoksija nastaje prilikom zastoja srca ili u stanju šoka. Hipoksija tkiva je posljedica insuficijencije lijeve klijetke, vazokonstrikcije, (centralizacije cirkulacije) i zastoja krvi prije prepreke (zastoj u radu desnog srca). Kod cirkulatorne hipoksije ne dolazi do hipoksemije – koncentracije Hb i vrijednosti parcijalnog tlaka kisika ( $pO_2$ ) su normalne. Ekstrakcija kisika od strane tkiva je povećana, međutim, zbog nedovoljne opskrbe oksigeniranom krvlju lokalni  $pO_2$  se smanjuje na niske vrijednosti dok se  $pCO_2$  povećava. U stvarnim kliničkim situacijama cirkulacijska hipoksija je obično povezana s drugim tipovima hipoksija. Npr. kod zatajenja lijevog srca poremećena je izmjena plinova u plućima dok je kod zatajenja desnog srca protok krvi kroz pluća smanjen (cirkulacijska + hipoksična hipoksija). Isto tako, u slučaju hemoragičnog šoka količina Hb se smanjuje, dok je kod šoka izazvanog opeklinama funkcija Hb, kao prijenosnika kisika, blokirana zbog vezanja ugljikovog monoksida (cirkulacijska + anemijska hipoksija).

Lokalna cirkulacijska hipoksija može biti posljedica arterijske tromboze (npr. infarkt miokarda), embolije, jake vazokonstrikcije ili venskog zastoja krvi [2].

### 1.1.2.4. Histotoksična hipoksija

Javlja se kada stanice nisu u stanju iskoristivati kisik, dopremljen arterijskom krvlju u dovoljnoj količini do svih stanica, zbog poremećaja oksidativne fosforilacije u mitohondrijima. Dakle, ovom tipu

hipoksije ne prethodi hipoksemija. Nastaje poglavito u slučaju intoksikacije cijanidima, koji na molekularnoj razini gledano remete proces oksidativne fosforilacije vežući se čvrsto na kompleks citokrom oksidazu (na dio kojeg čini molekula hema) blokirajući na taj način protok elektrona prema kisiku. Isto tako, nastaje uslijed oštećenja enzima Krebsovog ciklusa kemikalijama kao što su monobromaceton ili tetraklormetan, i u slučaju predoziranja anestetika koji interferiraju sa sustavom dehidrogenaza [2].

### 1.1.3. Glavni simptomi hipoksije

#### 1.1.3.1. Cijanoza

Cijanoza je osnovni simptom kronične hipoksije, a karakterizirna je pojavom plavog ili modrog obojenja kože, osobito usnica i uški, noktiju, sluznica pa čak i unutarnjih organa. Razlog tome je povećana koncentracija reduciranog (deoksigeniranog) hemoglobina u kapilarnoj krvi (više od 50 g/l). Dva su osnovna oblika cijanoza: **centralna i periferna cijanoza**.

Centralna cijanoza nastupa kad arterijska krv koja dolazi do tkiva nije dovoljno zasićena kisikom i sadrži određenu količinu reduciranog hemoglobina. Javlja se kod urođenih srčanih mana (npr. Fallotova tetralogija) kod koje zbog defekta pregrade između lijeve i desne klijetke dolazi do miješanja oksigenirane i neoksigenirane krvi, kao i kod različitih plućnih bolesti.

U slučaju periferne cijanoze arterijska krv je obično normalno zasićena kisikom ali je protok krvi kroz tkiva usporen zbog čega je izmjena kisika povećana. Obično se javlja kao jedan od simptoma zatajenja srca zajedno s produljenim vremenom cirkulacije.

Lokalna zastojna cijanoza nastaje u slučaju venskog zastoja kao posljedica lokalnih procesa – tromboza, tumorske mase koja vrši pritisak na okolne vene, vazospastičnih bolesti. Cijanoza se može manifestirati i kod zdravih osoba kod kojih su pojedini dijelovi tijela bili izloženi hladnoći zbog suženja arteriola i venula ispod površine kože. Protok krvi kroz kapilare je tada vrlo usporen te se više kisika uklanja iz krvi. Kod vrlo velikih hladnoća ne dolazi do razvoja cijanoze zbog toga što pad temperature kože sprječava disocijaciju hemoglobina dok je, također, i potrošnja kisika u tako pothlađenim tkivima smanjena.

U slučaju anemije neće doći do razvoja cijanoze zbog niskih koncentracija hemoglobina (npr. pri koncentracijama od 90 – 60 g/l) zbog toga što je tada vrlo teško dosegnuti onu koncentraciju reduciranog hemoglobina koja je potrebno da bi došlo do manifestacije cijanoze (50 g/l). S druge strane cijanoza je

vrlo česta kod policitemija. Cijanoza se neće javiti kod trovanja ugljikovim monoksidom jer je boja karboksihemoglobina (HbCO) svijetlo crvena, kao niti kod histotoksične hipoksije obzirom da se iznosi  $pO_2$  i saturacije Hb nalaze u granicama normalnih vrijednosti [2, 3].

### 1.1.3.2. Dispneja

Dispneja je po učestalosti drugi po redu klinički simptom hipoksije. Riječ je o otežanom disanju sa subjektivnim osjećajem nedostatka zraka. Karakterizira je zabrinut (paničan) izraz lica, ubrzano i sve dublje disanje, povećan rad pomoćnih respiratornih mišića i proširenje nosnica.

Dispneja se javlja kada se ventilacija pluća poveća 4-5 puta u odnosu na ventilaciju u mirovanju. Kod blage hipoksije u početku se javlja tahipneja (ubrzano plitko disanje) i hiperpneja (duboko disanje), dok se dispneja javlja tek kasnije [2, 3].

### 1.1.4. Kompenzacijski mehanizmi u stanjima hipoksije

Opskrba tijela kisikom osigurana je putem dišnog sustava, krvi, kardiovaskularnog sustava i samih tkiva. Oštećenjem bilo kojeg od navedenih mehanizama u kompenzaciju se uključuju svi nenarušeni sustavi ili njihovi netaknuti dijelovi.

Hiperventilacija (tahipneja i hiperpneja) je učinkovita u većini slučajeva kad je riječ o hipoksičnoj hipoksiji, ali se, također, pojavljuje i kod anemijske hipoksije. Isto tako, u kompenzacijske mehanizme spada i dispneja, ali je kod nje ukupni balans u smislu opskrbe kisikom vrlo često negativan zbog toga što se na rad respiratorne muskulature troši mnogo kisika.

Tahikardija je vrlo bitan kompenzacijski mehanizam kod obiju (hipoksične i anemijske) hipoksija, ali također troši dragocjeni kisik. U hipoksičnim uvjetima (npr. šok ili ozbiljna anemija) dolazi do centralizacije cirkulacije. Cilj ovakvog kompenzacijskog mehanizma je održavanje opskrbe krvlju i kisikom najvažnijih organa (srce, mozak) za razliku od cirkulacije kroz kožu, mišiće i ostalih unutarnjih organa. U akutnim stanjima to može spasiti život, međutim, nakon nekoliko sati može doći do nepovratnih oštećenja organa kao što su jetra i bubrezi i može završiti smrću bez obzira na kasniju uspostavu cirkulacije.

Aktivacija sustava renin-angiotenzin-aldosteron je prednost u hipovolemijskim stanjima (gubitak krvi) ali je štetna kod cirkulacijske hipoksije.

Eritropoetin je hormon kojeg, osim renina koji je enzim, također, luče bubrezi u svim hipoksičnim stanjima. Kao glavni regulatorni čimbenik eritropoeze, eritropoetin povećava proizvodnju eritrocita osim u pojedinim vrstama anemija. Policitemija (stanje koje karakterizira prekomjeren broj eritrocita) je korisna nakon gubitka velike količine krvi, ali je štetna kod plućnih i srčanih bolesti zbog toga što uzrokuje povećanje viskoziteta krvi.

Boljem otpuštanju kisika iz krvi u tkiva pogoduje povišena koncentracija 2,3-bisfosfoglicerata (2,3-BPG). Nastaje tokom glikolize u eritrocitima, a značajan je u smanjenju afiniteta hemoglobina prema kisiku (kompetitivni inhibitor vezanja kisika). Isto tako, otpuštanju kisika pogoduje i povećana koncentracija CO<sub>2</sub> u krvi i tkivima (pomak disocijacijske krivulje hemoglobina na lijevo).

Također, tkiva sama po sebi tijekom hipoksemije mogu povećati ekstrakciju kisika iz krvi [2, 3].

### 1.1.5. Manifestacija hipoksije na pojedinim organima i tkivima

Moždano tkivo koristi oko 20 % od ukupne količine utrošenog kisika i posebno je osjetljivo na hipoksiju. Najosjetljivija struktura SŽS je kora velikog mozga. Stoga prilikom teške akutne hipoksije (npr. kod zastoja srca) unutar samo nekoliko sekundi nastupaju konvulzije i nesvestica. Kod blage hipoksije dolazi do povećanja propusnosti moždanih kapilara što može dovesti do edema mozga.

U slučaju sporog razvoja hipoksije mozga neki od glavnih simptoma su postupno pogoršanje intelektualnih sposobnosti, glavobolja, gubitak pamćenja, poremećaji spavanja i drugi neurološki poremećaji.

Najosjetljivija struktura srca je njegov provodni sustav koji koristi 15 % od ukupne količine utrošenog kisika. Zbog toga je tijekom hipoksije povećana iritabilnost provodnog sustava srca što može dovesti do nastupa različitih aritmija. Tijekom kronične hipoksije mogu nastupiti teške strukturne promjene kao što su fibroza srčanog mišića, hipertrofija (povećanje) i dilatacija (proširenje) srca. Kako je srce jedno od najvažnijih dijelova sustava opskrbe kisikom, u slučaju hipoksije stvara se začarani krug koji još više pogoršava opskrbu srčanog mišića kisikom.

Hipoksija u plućima uzrokuje vazokonstrikciju malih plućnih vena. Time se povećava otpor u njima što uzrokuje pojačan rad desnog srca djelujući tako na već spomenuti začarani krug.



Hipoksija bubrega prilikom akutne renalne ishemije uzrokuje strukturne i funkcijske promjene koje mogu dovesti čak do zatajenja bubrega (npr. u stanjima šoka). U bubrežima je u stanju hipoksije povećana sinteza i otpuštanje eritropoetina i aktiviranog renina.

Stanice jetre smještene u središnjem djelu jetrenih lobula i u normalnim okolnostima primaju vrlo ograničenu količinu kisika. Rezultat je to strukture funkcionalnog (vena porte) i nutritivnog krvotoka (arteria hepatica) jetre. Stoga su u patološkim stanjima navedene centrolobularne stanice prve na udaru pri čemu dolazi do razvoja centrolobularne nekroze te posljedično fibroze.

Do hipoksije skeletnih mišića može doći čak i kod prekomjerne mišićne aktivnosti kada mišići energiju dobivaju kroz anaerobnu glikolizu. Ukoliko se zbog nedovoljne opskrbe kisikom mišići ne mogu glikolizom opskrbiti s dovoljnom količinom ATP-a, javit će se bolni grčevi mišića [2, 3].

## 1.2. Odlagališni plin i njegove osnovne karakteristike

Odlagališni plin sastoji se od nekoliko stotina različitih plinova, a u najvećem udjelu zastupljeni su metan (45-60 %) i ugljikov dioksid (40-60 %). U manjim udjelima čine ga još i dušik, kisik, amonijak, sulfidi, vodik, ugljikov monoksid i nemetanski organski spojevi, kao što su trikloroetilen, benzen, vinil klorid, i mnogi drugi u ovisnosti o sastavu samog otpada. Nastaje tijekom raspada organskog otpada (ostataka hrane, biljnog otpada, tekstila, drvenog i papirnato otpada) pod utjecajem bakterija, zatim, isparavanjem hlapivih organskih spojeva prisutnih na odlagalištu otpada te u reakcijama određenih kemikalija prisutnih u otpadu (npr. ako natrijev hipoklorit i amonijak dođu u kontakt nastaje otrovni plin) [4].

### 1.2.1. Faze bakterijske razgradnje otpada

Bakterijska razgradnja otpada na odlagalištu odvija se u četiri faze (Slika 1):

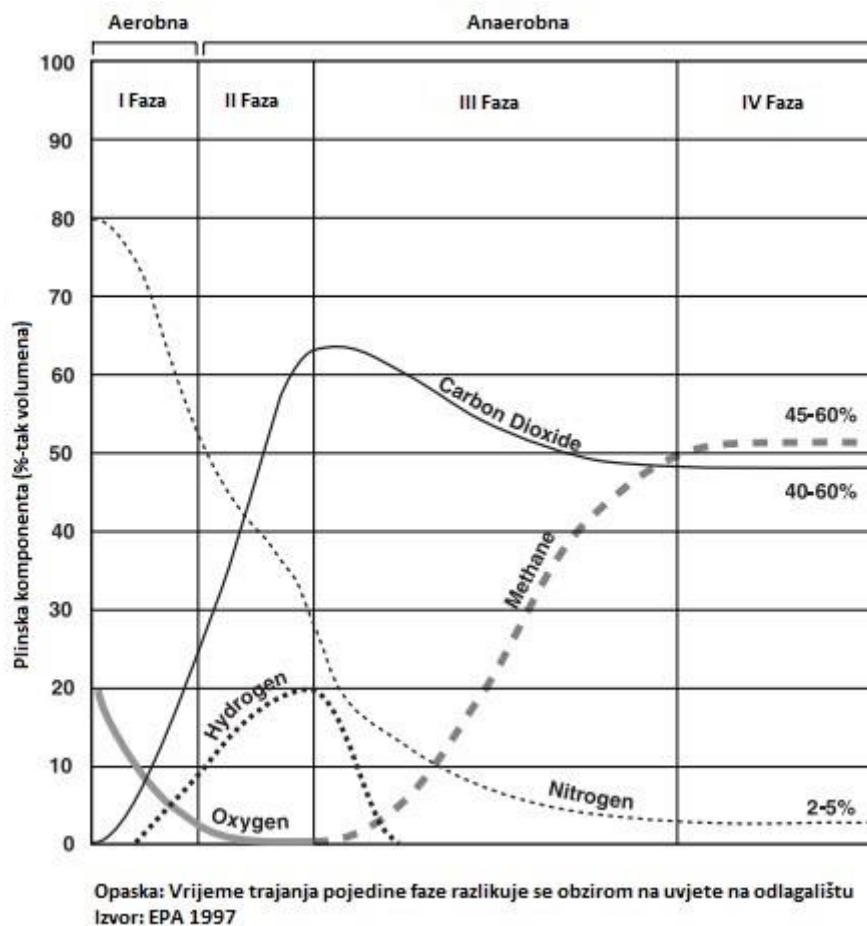
*I faza* – Tijekom prve faze aerobne bakterije pod utjecajem kisika razgrađuju ugljikohidrate dugih lanaca, proteine i lipide koje sadrži organski otpad pri čemu prvenstveno nastaje ugljikov dioksid. Ona traje

danima ili mjesecima ovisno o tome koliko je kisika prisutno na mjestu gdje je otpad odložen, odnosno sve dotle dok se ne potroši sav kisik.

*II faza* – Kreće u trenutku kad više nema dostupnog kisika. U takvim uvjetima bez kisika anaerobne bakterije pretvaraju spojeve nastale tijekom prve faze u organske kiseline (octenu, mliječnu ili mravlju) i alkohole (metanol i etanol) zbog čega odlagalište postaje vrlo kiselo. Takva situacija uzrokuje otapanje određenih hranjivih tvari omogućavajući dušiku i fosforu da bude na raspolaganju raznoraznim vrstama bakterija prisutnim na odlagalištu. Plinovite međuprodukte ove faze čine ugljikov dioksid i vodik. Isto tako, ako na ovaj ili onaj način kisik dospije do otpada u odlagalištu bakterijska razgradnja vratit će se na I fazu.

*III faza* – Kreće kad određene vrste anaerobnih bakterija počnu konzumirati organske kiseline nastale u drugoj fazi stvarajući organske acetate. Pritom u odlagalištu počinje prevladavati neutralno okruženje što pogoduje razvoju metanogenih bakterija i proizvodnji metana. Bakterije koje proizvode organske kiseline i metanogene bakterije u nekoj su vrsti simbioze zbog toga što prve proizvode spojeve koji služe kao hrana drugima. S druge strane, metanogene bakterije koriste (troše) ugljikov dioksid i acetat čiji suvišak može biti otrovan za bakterije koje proizvode organske kiseline.

*IV faza* – Započinje u trenutku kada su sastav i brzina nastajanja plinova na odlagalištu relativno konstantni. U ovoj fazi odlagališni plin obično sadrži otprilike 45 % do 60 % metana, 40 % do 60 % ugljikovog dioksida i 2 % do 9 % ostalih plinova, najčešće sulfida. Proizvodnja plina u toj fazi odvija se konstantnom brzinom kroz slijedećih 20 godina, ili duže, što ovisi o količini prisutnih tvari organskog podrijetla [4].



**Slika 1:** Faze stvaranja tipičnog odlagališnog plina [4]

### 1.2.2. Čimbenici koji utječu na stvaranje odlagališnog otpada

Na brzinu i volumen stvaranja odlagališnog plina utječe nekoliko čimbenika:

1. *Sastav otpada* – što je više organskog otpada prisutno na odlagalištu više će odlagališnog plina biti proizvedeno tijekom njegove bakterijske razgradnje. Isti princip vrijedi i za kemikalije. Što ih je više nastat će veća količina nemetanskih organskih spojeve ili drugih plinova nastalih zbog isparavanja ili u međusobnim kemijskim reakcijama.
2. *Starost otpada* – općenito, otpad koji je na odlagalištu zakopan nedavno (npr. otpad zakopan u periodu kraćem od 10 godina) proizvodi više odlagališnog plina u odnosu na stariji otpad. Najveća količina plinova nastaje u periodu od pete do sedme godine nakon odlaganja.

3. *Prisutnost kisika na odlagalištu* – proizvodnja metana biti će moguća jedino kad u odlagalištu više ne bude prisutan kisik.
4. *Sadržaj vlage* – prisutnost vlage u odlagalištu povećava proizvodnju plina zbog toga jer ona potiče bakterijsku razgradnju otpada. Ona, isto tako, može potaknuti kemijske reakcije u kojima nastaju plinovi.
5. *Temperatura* – s porastom temperature odlagališta pojačava se bakterijska aktivnost rezultat čega je povećana proizvodnja plina. Porast temperature može povećati brzinu isparavanja lako hlapivih spojeva prisutnih u odlagalištu i brzinu kemijskih reakcija [4].

Na takav način nastali odlagališni plin može se kretati unutar samog odlagališta i izvan njega. Poznato je kako plinovi imaju tendenciju širenja i popunjavanja raspoloživih prostora. Isto tako, onaj dio odlagališnih plinova koji su lakši od zraka, kao što je to metan, kretati će se uzlazno kroz površinu odlagališta. Uzlazno kretanje odlagališnog plina može biti spriječeno gusto zbijenim otpadom ili materijalom kojim se prekriva površinski sloj otpada na odlagalištu (najčešće je to glinoviti sloj zemlje). U takvim situacijama plin se nastavlja kretati horizontalno, linijom manjeg otpora, kroz prostore odlagališta ili u prostore izvan odlagališta iz kojih se onda može ponovno nastaviti kretati uzlazno. Drugi dio odlagališnih plinova koji su teži od zraka, kao što je ugljikov dioksid, sakupljat će se u podzemnim prostorima i kanalizacijskoj infrastrukturi.

Tri su osnovna čimbenika koji utječu na kretanje odlagališnih plinova: difuzija (koncentracija), tlak i poroznost.

Difuzija je proces koji opisuje prirodnu težnju plina da postigne jednaku koncentraciju u određenom prostoru. Kad je riječ o difuziji odlagališnih plinova radi se o njihovom kretanju iz područja odlagališta u kojem se nalaze u visokoj koncentraciji u područje s niskom koncentracijom. Upravo iz razloga što se nalaze unutar odlagališta u visokoj koncentraciji, odlagališni plinovi se šire izvan odlagališta u okolna područja s nižom koncentracijom.

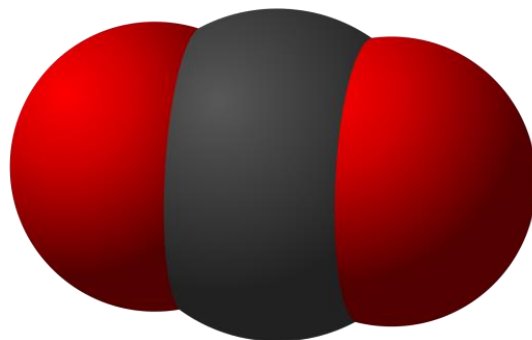
Kad je riječ o tlaku kao čimbeniku koji utječe na kretanje odlagališnih plinova njegov učinak očituje se po sličnom principu kao i difuzija. Razlika u tlakovima odlagališnih plinova unutar odlagališta uzrokuje kretanje plinova iz područja visokog tlaka prema području niskog tlaka. Što se više plina proizvede, tlak

unutar odlagališta se povećava, čineći pritom razliku u tlaku koji djeluje na površinski sloj otpada u odnosu na atmosferski tlak. Takva situacija dovodi do izlaska plinova u okoliš.

Poroznost (permeabilnost) je općenito mjera sposobnosti nekog medija da omogući gibanje kroz taj medij. Kad je riječ o odlagalištu otpada misli se na mjeru koja pokazuje kako dobro plinovi ili tekućine protječu kroz spojene prostore ili pore unutar otpada i tla. Suha i pjeskovita tla imaju veliku poroznost, za razliku od vlažnih i glinovitih. Stoga se plinovi puno lakše kreću kroz područja velike poroznosti (pjeskovita i šljunčana tla) za razliku od onih male poroznosti (glinovita ili siltozna tla). Odlagališta se često prekrivaju tlima male poroznosti. Stoga se plinovi nastali u tako prekrivenim odlagalištima vjerojatnije kreću horizontalno nego vertikalno [4].

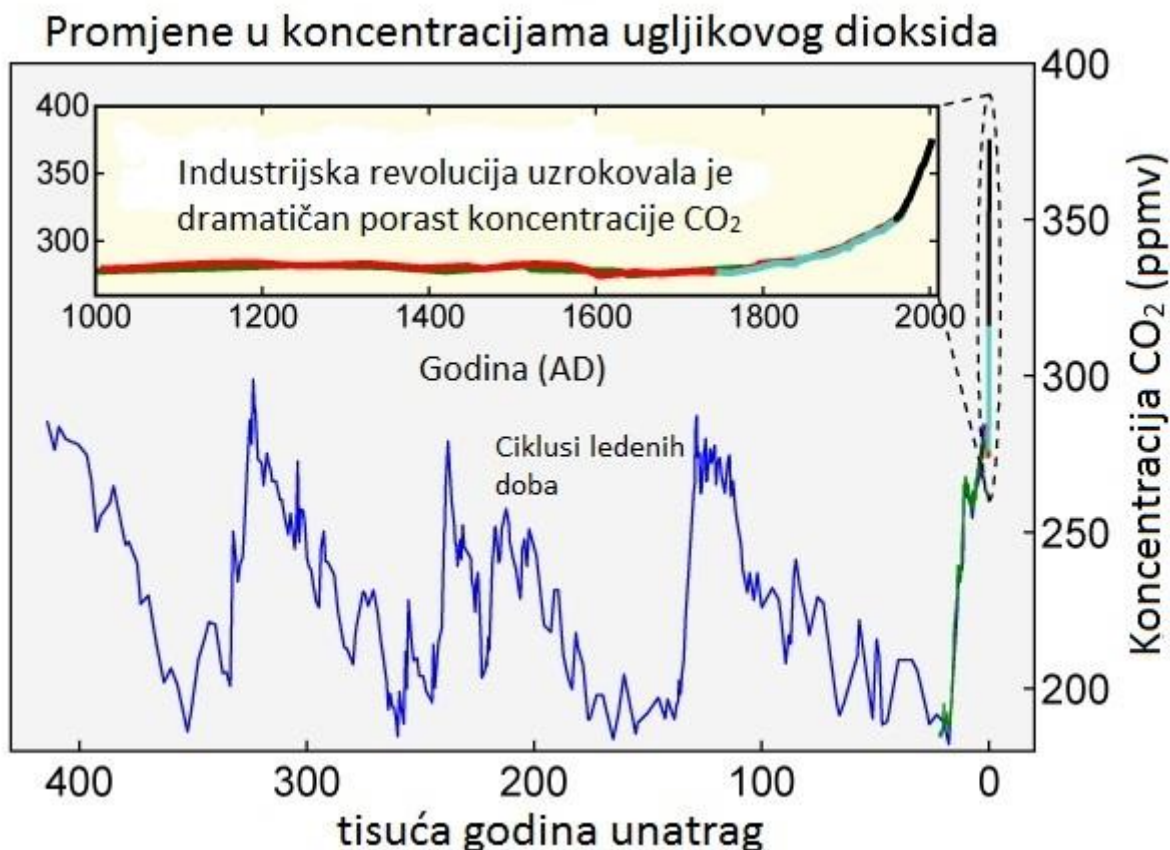
### 1.3. Ugljikov dioksid

**U**gljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) je četvrti najzastupljeniji plin zemljine atmosfere čiji je udio u proteklim stoljećima bio stalan, s vrijednošću od oko 0,03 % (Slika 2.). Međutim, u novije vrijeme zbog povećanih emisija uslijed, prvenstveno, izgaranja fosilnih goriva dovele su do porasta njegove vrijednosti s 0,028 % početkom 19



**Slika 2:** Molekula ugljikovog dioksida.

stoljeća, do otprilike 0,035 % na kraju 20 stoljeća (Slika 3.). Ljudi proizvode ugljikov dioksid u procesima oksidativnog metabolizma ugljikohidrata, masti i aminokiselina brzinom od oko 20 l/h u stanju mirovanja. Treba spomenuti kako su na primjer povećane koncentracije ugljikovog dioksida zabilježene u punim dvoranama i sveučilišnim predavaonicama na samom kraju predavanja koje su tada iznosile do čak 0,09 %. Obično se koncentracije ispod 1 % dobro podnose bez ikakvih trenutnih učinaka na zdravlje. Puno veći problem predstavljaju njegova fizikalna svojstva u troposferi. Naime, ugljikov dioksid propušta nadolazeće kratkovalno zračenje, dok s druge strane apsorbira dugovalno zračenje koje emitira Zemljina površina. Procjenjuje se kako upravo on iz tog razloga sa oko 50 % doprinosi efektu staklenika [5].

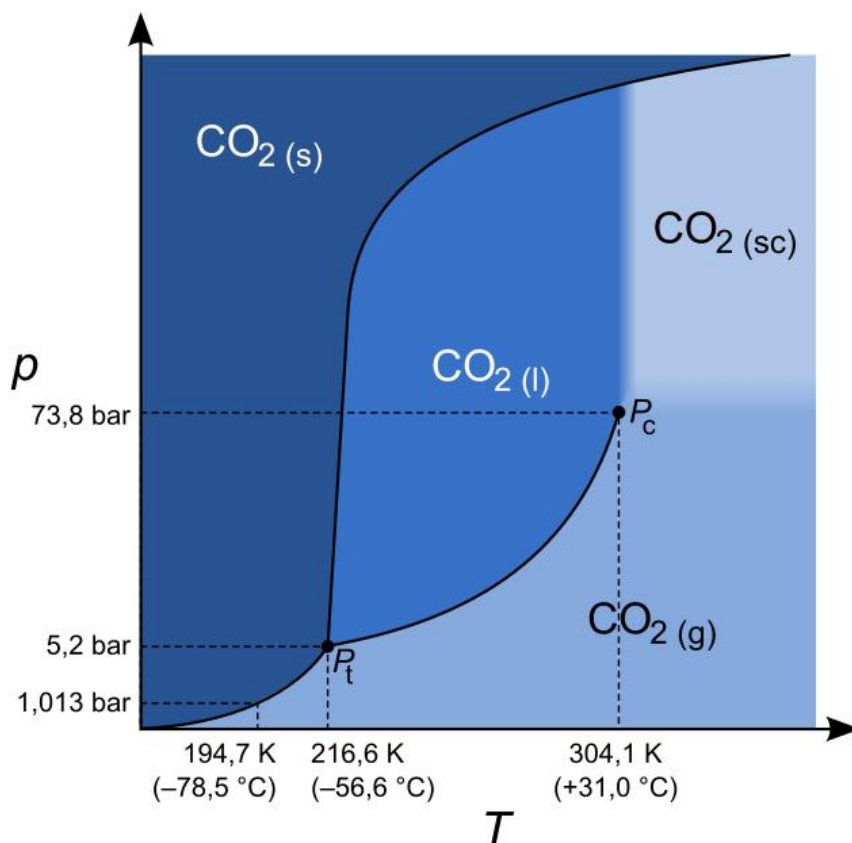


**Slika 3:** Porast koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi pod utjecajem antropogenog djelovanja.

### 1.3.1. Svojstva, izvori i moguća izloženost ugljikovom dioksidu

Riječ je o ne nadražujućem i nezapaljivom plinu bez boje i mirisa blago kiselkastog okusa. Zbog specifične težine od 1.5 koja ga čini težim od zraka (zrak = 1) širi se površinom tla. CO<sub>2</sub> ne postoji u tekućem obliku pri atmosferskom tlaku nego kruti oblik (suhi led) sublimacijom izravno prelazi u plinoviti ukoliko je temperatura okoliša  $\geq -78,5$  °C (Slika 4.). Pri temperaturi od 20 °C CO<sub>2</sub> može biti ukapljen pod tlakom od 55 atmosfera; u takvom obliku se obično distribuira u čeličnim cilindričnim spremnicima.

CO<sub>2</sub> se oslobađa iz Zemlje u atmosferu putem termalnih izvora, bunara, gejzira i vulkana. Postoje i razni drugi izvori koji uključuju disanje biljaka i životinja, proces truljenja organskog materijala i u industrijskim procesima tijekom pečenja vapnenca i proizvodnji vodika i amonijaka. Iz zraka biva uklonjen procesom fotosinteze, otapanjem (korozijom) stijena pod utjecajem vremena i metabolizmom određenih bakterija. Svi ti procesi dovode do uspostavljanja dinamičke ravnoteže ukupnog CO<sub>2</sub> na globalnom nivou [5].



**Slika 4:** Fazni dijagram ugljikovog dioksida.

Oko polovice ukupnog  $\text{CO}_2$  dobivenog tokom tehnoloških procesa iskoristi se na mjestu njegovog nastanka u proizvodnji ostalih kemikalija, kao što su npr. urea i metanol.

Upotrebljava se i kao inertni plin. Posebno je prikladan za uporabu u aparatima za gašenje požara, za inertiziranje atmosfere prilikom lučnog zavarivanja te prilikom rukovanja i transporta materijala i namirnica sklonih autooksidaciji.

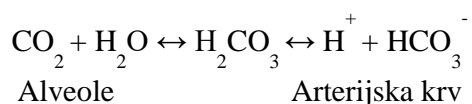
$\text{CO}_2$  je izvrstan medij za prijenos topline u (nuklearnim) elektranama te se u njima koristi kao rashladno sredstvo.

Prilikom rukovanja s krutim  $\text{CO}_2$  postoji opasnost od opekline kože istovjetnih teškim smrzotinama. U toksikološkom smislu puno značajniji je ipak plinoviti  $\text{CO}_2$  prisutan u zraku u višim postocima. Smrtni slučajevi zabilježeni su tako u rudnicima, bunarima, te u zatvorenim prostorima tijekom fermentacije ugljikohidratnih tvari npr. u pivovarama, vinskih podrumima, silosima na farmama kao i u brodskom teretnom prostoru napunjenom sa žitom, sojom, krumpirom ili voćem.

Postoje slučajevi kada je CO<sub>2</sub> koji je potekao iz suhog leda na teretnim zrakoplovima, korišten za hlađenje osjetljivih materijala, izazvao trovanje [5].

### 1.3.2. Apsorpcija, distribucija, metabolizam, izlučivanje i mehanizam toksičnosti

Udahnut, CO<sub>2</sub> slobodno prolazi stanične membrane. Brzina difuzije kroz alveolarne membrane u krvotok veća je za oko 20 puta u odnosu na brzinu difuzije kisika (O<sub>2</sub>). Uz pomoć enzima karboanhidraze iz eritrocita 90 % CO<sub>2</sub> u krvi reagira s vodom pri čemu nastaje karbonatna kiselina koja naizmjenično disocira na vodikov ion (H<sup>+</sup>) i bikarbonatni ion (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) pri čemu se uspostavlja dinamička ravnoteža (Slika 5.).



**Slika 5:** Jednadžba disocijacije.

Oko 5 % CO<sub>2</sub> u krvi fizički je otopljeno u plazmi i stanicama, dok je preostalih 5 % vezano na hemoglobin u formi karbaminohemoglobina.

Kao produkt metabolizma, višak CO<sub>2</sub> se mora ukloniti iz tijela. Procjenjuje se kako zdrav čovjek u mirovanju izdahne oko 220 mL/min ugljikovog dioksida, te otprilike 1700 mL/min tijekom fizičke aktivnosti umjerenog intenziteta. U normalnim okolnostima, eliminacija CO<sub>2</sub> odvija se istom brzinom kojom on nastaje pri čemu iznos parcijalnog tlaka CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) u alveolama i arterijskoj krvi ostaje oko 40 mm Hg. Par CO<sub>2</sub>-bikarbonatni ion ima ulogu glavnog puferskog sustava u krvi. U slučaju udisanja CO<sub>2</sub> ili kad je smanjena alveolarna ventilacija, pCO<sub>2</sub> u arterijskoj krvi raste i pH pada pa se takvo stanje naziva respiratorna acidoza. CO<sub>2</sub> snažno potiče ventilaciju osobito u uvjetima hipoksije. U uvjetima normoksije (stanje normalne opskrbe krvi kisikom) rijetko dolazi do stimulacije dišnog sustava sve dok u udahnutom zraku koncentracija CO<sub>2</sub> ne prijeđe otprilike 2 %. Povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> na 10 % uzrokuje povećanje respiratornog minutnog volumena do 75 litara/min. Stimulacija dišnog sustava, što uključuje i brzinu disanja i respiracijski volumen, počinje kroz nekoliko sekundi, a maksimalan učinak obično se



dostiže za manje od 5 minuta. Mehanizam kojim CO<sub>2</sub> djeluje na periferne arterijske i medularne kemoreceptore vjerojatno uključuje pad pH. Osim toga, povećani pCO<sub>2</sub> uzrokuje bronhodilataciju i masovnu aktivaciju simpatičkog živčanog sustava. Rezultat toga je da dolazi do povećane kontraktilnosti, broja otkucaja srca i minutnog volumena. Simpatički učinci na krvne žile suzbijeni su lokalnim učincima CO<sub>2</sub>, dovodeći do smanjenja perifernog otpora. Krvne žile mozga, koje su lišene funkcionalno važne inervacije, bivaju dilatirane nakon udisanja CO<sub>2</sub>.

Povišene razine CO<sub>2</sub> u krvi smanjuju podražljivost (sposobnost reagiranja na podražaj) središnjeg živčanog sustava (SŽS) te podižu prag podražaja za bol i početak konvulzivnih napadaja. CO<sub>2</sub> može pojačati već postojeću depresiju SŽS. Kako god, udisanje CO<sub>2</sub> u koncentracijama iznad 25 % može aktivirati kortikalne regije i izazvati konvulzivne napadaje [5].

### 1.3.3. Akutna i kronična toksičnost

#### 1.3.3.1. Akutna toksičnost

Odgovor organizma na izlaganje ugljikovom dioksidu varira s obzirom na njegovu koncentraciju i duljinu izloženosti. Štetni učinci izlaganja očekuju se već pri koncentracijama > 2 %. Daljnjim povećanjem koncentracije učinci postaju sve izraženiji (Tablica 1), dovodeći do smrtnog ishoda pri koncentracijama > 17 % [6].

**Tablica 1:** Simptomi akutne izloženosti ugljikovom dioksidu [6].

% CO <sub>2</sub>	Simptomi
2 do 5	Glavobolja, vrtoglavica, znojenje, otežano disanje.
6 do 10	Hiperventilacija, ubrzan rad srca, pogoršanje vrtoglavice.
11 do 17	Pospanost, drhtanje mišića, gubitak svijesti.
> 17	Konvulzije (nekontrolirano grčenje mišića), koma, smrt.

Otežano disanje (dispneja) je jedan od najranijih simptoma izlaganja povišenim koncentracijama CO<sub>2</sub> u zraku i obično se manifestira tijekom 30 minutnog izlaganja pri koncentracijama CO<sub>2</sub> višim od 3 %. Dok se kod normalnih pojedinaca peterostruko povećanje disanja može tolerirati tijekom kraćeg vremenskog

perioda, povećana ventilacija kroz dulji period postaje neugodna i uznemirujuća. Osim otežanog disanja, akutna izloženost CO<sub>2</sub> u pravilu uzrokuje glavobolju koja postaje intenzivnija tijekom tjelesnog treninga. Pretpostavlja se kako je glavobolja uzrokovana CO<sub>2</sub>-induciranom vazodilatacijom krvnih žila u moždanim ovojnica. Ona se, međutim, ne pojavljuje odmah nakon izlaganja CO<sub>2</sub> nego u pravilu tek na kraju ispitivanja. Dakle, CO<sub>2</sub>-inducirana acidoza može biti još jedan od uzroka glavobolje. Utvrđeno je kako je pH plazme tijekom 1-satnog izlaganja 7 %-tnom CO<sub>2</sub> pao sa 7.40 na 7.30. Pri navedenoj koncentraciji uočava se brzo pogoršanje mentalnih sposobnosti. Osim toga, oslabljena funkcija sluha i vida zamjećuje se unutar nekoliko minuta izloženosti 6 %-tnom CO<sub>2</sub>.

Pri koncentracijama CO<sub>2</sub> u udahnutom zraku od 15 do 20 % poteškoće s disanjem nastupaju iznenada i snažno u pratnji s brzim gubitkom svijesti i grčevitim trzanjem mišića. S 20 do 30 % udahnutog CO<sub>2</sub> (u smjesi s kisikom zbog sigurnosti) konvulzije se javljaju unutar 1 do 3 minute nakon početka izlaganja. Smrt može nastupiti ukoliko dođe do razvoja teške acidoze [5].

### 1.3.3.2. Kronična toksičnost

Ljudski organizam je sposoban prilagoditi se izlaganju niskim koncentracijama ugljikovog dioksida kroz dulje vrijeme. U takvim situacijama u pravilu svi oni akutni učinci, kao što su glavobolja, otežano disanje i bol u prsima, obično nestaju unatoč stalnoj izloženosti ugljikovom dioksidu koncentracijama do 3 % [6].

Uvjeti u kojima je kronično povišen pCO<sub>2</sub> prisutni su prilikom boravka u podmornicama, pri ronjenju i sličnim poslovima. Povećana koncentracija CO<sub>2</sub> je puno veći problem uslijed aktivnosti pri višem tlaku zraka u odnosu na one u svemirskim letjelicama, gdje je tlak zraka znatno niži. Stoga, 5 % CO<sub>2</sub> može biti štetno pri tlaku od 5 atmosfera, ali ne igra nikakvu ulogu pri 0.2 atmosfere [5].

Kronična izloženosti ugljikovom dioksidu utječe na koncentraciju kalcija u plazmi i njegov metabolizam, ali mehanizam nije sasvim jasan. S jedne strane istraživanja su pokazala kako je došlo do smanjenja koncentracije, dio njih bilo je bez promjene koncentracije, dok je s druge strane čak jedan dio rezultata ukazivao na povećanje koncentracije kalcija u plazmi. Slična situacija uočena je i kad je riječ o izlučivanju kalcija putem mokraće [6].

Smatra se kako ne postoji izravna povezanost povećanog rizika nastanka bubrežnih kamenaca u osoba koje su profesionalno kronično bile izložene povišenim koncentracijama ugljikovog dioksida, kao što su npr. podmorničari, u odnosu na ostale pojedince.

U svakom slučaju, čini se kako su specifični utjecaji izloženosti CO<sub>2</sub> u potpunosti reverzibilni [6].

#### 1.3.4. Granične vrijednosti izloženosti

Preporučene granične vrijednosti izloženosti (GVI) tijekom osmosatnog izlaganja na radnom mjestu smiju se kretati do maksimalnih 5000 ppm (0,5 %) odnosno 9000 mg/m<sup>3</sup>, a kad je riječ o kratkotrajnom izlaganju (izlaganje kroz maksimalno 15 minuta) koncentracija ugljikovog dioksida ne smije biti viša od 15000 ppm (1,5 %) (TWA) [6].

#### 1.3.5. Postupci u slučaju izloženosti

Postupci u slučaju otrovanja ugljikovim dioksidom nalažu, prvo, hitno uklanjanje unesrećenih iz kontaminiranog prostora, s tim da takav postupak ne predstavlja opasnost za osobe koje sudjeluju u pružanju pomoći i, drugo, primjenu 100 %-tnog kisika. Oporavak je kod većine unesrećenih tada vrlo brz. U težim slučajevima, biti će potrebna uporaba respiratora. U slučaju nastanka konvulzija, te ako su one učestale i traju dulje vrijeme, preporuča se terapija benzodiazepinima. Poremećena acidobazna ravnoteža obično se brzo ispravlja, stoga je liječenje rijetko potrebno. Kod teško otrovanih osoba potrebno je praćenje hipotenzije, aritmije, razine elektrolita, acidobaznog statusa i hipoksije [6].

Opekline nastale nakon izlaganja suhom ledu tretiraju se kao i klasične opekline nastale nakon izlaganja otvorenom plamenu ili užarenim predmetima. Na početku je važno ukloniti suhi led s mjesta kontakta te svući odjeći koja nije zalijepljena za kožu. Onu koja to jest potrebno je prethodno ugrijati kako bi se odmrznula. Trljanje zahvaćenog područja može pogoršati oštećenje tkiva. Brzo zagrijavanje pothlađenog mjesta, nakon dolaska u bolnicu, može umanjiti oštećenje tkiva. Za suzbijanje boli preporuča se koristiti lijekove za suzbijanje boli, uključujući opijate. Kako bi se smanjilo otjecanje na mjestu kontakta i poboljšala opskrba tkiva krvlju preporuča se mirovanje (imobilizacija) i postavljanje u povišeni položaj

zahvaćenog područja. U slučaju pojave mjehura, oni manje veličine ne trebaju kiruršku obradu dok je veće potrebno kirurški obraditi [6].

### 1.3.6. Epidemiologija

Najveći zabilježeni broj smrtnih slučajeva povezanih sa otrovanjem ugljikovim dioksidom dogodio se 21. kolovoza 1986. godine u okolici jezera Nyos, smještenog unutar vulkanskog kratera u sjeveroistočnom Kamerunu u središnjoj Africi. Procijenjeno je da je te večeri između 21:00 i 22:00 sata, iz neutvrđenih razloga (smatra se kako je odlomljena stijena udarila u dno jezera), došlo do oslobađanja  $10^9$  m<sup>3</sup> vulkanskih plinova (čiji sastav najvećim djelom čine ugljikov dioksid, sumporov dioksid, sumporovodik, metan, vodikov klorid, vodikov fluorid i ugljikov monoksid), odnosno približno 1,6 miliona tona CO<sub>2</sub>, usmrтивši pritom u svojoj okolici gotovo 1700 ljudi i 3500 komada stoke dok je nekoliko tisuća bilo je ozlijeđeno. Uzorkovanjem jezerske vode utvrđena je prisutnost ugljikovog dioksida, ukazujući pritom kako se pretežno, ako ne i isključivo, radi o navedenom plinu. Slični događaji, iako s manjim brojem žrtava događali su se također u Kamerunu kod jezera Monoun, oko 100 km južnije od jezera Nyos dvije godine ranije (1984. godine), pri čemu su smrtno stradale 34 osobe, te u Indoneziji prilikom erupcije plinova iz vulkana Sinila u neposrednoj blizini grada Dieng 1979. godine, kada su poginule 142 osobe.

Unatoč širokoj industrijskoj uporabi, profesionalna otrovanja su vrlo rijetka. Na primjer, u Nizozemskoj je u periodu od preko 12 godina zabilježeno 6856 slučajeva akutnih otrovanja na radnom mjestu. Njih 5 je završilo smrtnim ishodom, od toga samo jedan kao posljedica otrovanja ugljikovim dioksidom. Istraživanje američke Agencije za zaštitu okoliša (US EPA) vezano uz smrtno ishode uslijed ispuštanja ugljikovog dioksida iz sustava za gašenje požara pokazuje kako se u periodu od 1975. do 2000. godine dogodio ukupno 51 incident u kojima su 72 osobe smrtno stradale, a 145 osoba je ozlijeđeno. U izvješću Američkog Udruženja centara za kontrolu otrovanja (American Association of Poison Control Centers) navodi se kako je tijekom sedmogodišnjeg perioda, u razdoblju od 1998.-2004. godine, bilo prijavljeno 4331 izlaganje ugljikovom dioksidu, međutim, sa smrtnom posljedicom za samo troje ljudi [6, 7].

Rad s ugljikovim dioksidom može biti opasan, osobito u loše ventiliranim zatvorenim prostorima. Događali su se mnogi smrtni slučajevi tijekom rada pri iskrcavanju tereta iz brodskih skladišta, proizvodnje

vina te čišćenja i održavanja bačava u vinarijama, proizvodnje silaže, prilikom čišćenja i održavanja odvodnih i kanalizacijskih sustava, te zbog naglog ispuštanja ugljikovog dioksida iz aparata za gašenje požara ili tokom sublimacije suhog leda. Međutim, kod podmorničara, astronauta ili zaposlenika u proizvodnji piva koji su svakodnevno izloženi ugljikovom dioksidu u koncentracijama višim od 1,5 % nisu uočeni nikakvi štetni učinci [6].

### 1.3.7. Hrvatski slučajevi

Jedan od najpoznatijih slučajeva smrti zbog otrovanja ugljikovim dioksidom u Hrvatskoj zbio se 2007. godine u Karlovcu, u neposrednoj blizini Karlovačke pivovare. Čovjek je u večernjim satima jednog tmurnog dana vodio svog psa u šetnju pokraj potoka u koji se izlijevala oborinska kanalizacija pivovare. Kako je kasnio s povratkom, zabrinuta supruga je izašla van potražiti ga. Našla je njega i psa kako nepomično leže pokraj potoka. Mjesto pronalaska nalazilo se samo nekoliko metara od izljevnog mjesta oborinske kanalizacije Karlovačke pivovare. Po dolasku hitne pomoći čovjeka su izvukli iz potoka i ustanovili da su mu zakazale vitalne funkcije. Budući da se iz potoka širio izrazito intenzivan miris od kojeg se nije moglo disati reanimaciju su obavili podalje od mjesta stradavanja. Nakon što su čovjeku uspjeli uspostaviti vitalne funkcije prevezli su ga u bolnicu i tamo nastavili s intenzivnom terapijom. Nažalost, to nije pomoglo i unatoč svim naporima on nije dolazio k svijesti, a umro je gotovo mjesec dana nakon tog događaja. Već dan nakon nesretnog događaja lokalna radio postaja je pokrenula vrlo snažnu akciju izvještavanja javnosti o uzrocima tragičnog događaja. Oni su smatrali kako se čovjek otrovao amonijakom, a kao podloga tome bila je činjenica kako je pivovara otprilike desetak ili više dana prije tog događaja započela remont strojarne hladnjače, te kako se početkom radova u zrak oslobodila nepoznata količina amonijaka uzrokujući pritom uznemirenost među građanima. Na mjesto događaja je vrlo brzo stigla inspekcija zaštite okoliša, vatrogasci i policija, a već početkom narednog tjedna u javnosti je stvoreno mišljenje kako je čovjek otrovan amonijakom. U tom periodu krizni stožer Ministarstva zdravlja zatražilo je stručno mišljenje HZTA vezano uz spomenuti događaj. Rezultati mjerenja koncentracije amonijaka dobiveni u međuvremenu na mjestu događaja, kao i zatečeno stanje okoliša i potočnog raslinja nikako ne idu u prilog tvrdnji kako je stradavanje čovjeka i psa posljedica izlaganja amonijaku. Također, kod žrtve nisu dijagnosticirani tipični simptomi otrovanja amonijakom. Sumnja se stoga logično prebacuje na

ugljičkov dioksid za kojeg se zna kako nastaje u velikim količinama fermentacijom slada prilikom proizvodnje piva. Naknadno je utvrđeno kako je pivovara zbog kvara uređaja za rekuperaciju ugljičkovog dioksida dulje vrijeme ukupne fermentacijske plinove naprosto ispuštala u oborinsku kanalizaciju. Ugljičkov dioksid se tamo nakupljao u količinama ovisnim o proizvodnji fermentacijskih plinova tijekom vrenja i polako kretao prema potoku zajedno s vodom. Tjedan dana nakon stradavanja koncentracije kisika izmjerene na mjestu ispuštanja fermentacijskih plinova u kanalizaciju iznosile su 4,5 %, a na izlasku u potok tek nešto više od 14 %. Dovoljno za smrt psa i čovjeka. Isto tako, obdukcija čovjeka nakon smrti, kao i psa, potvrdila je da su umrli od hipoksije, a ne zbog otrovanja amonijakom. Bio je to tragičan događaj do tada nezabilježen kod nas. U svakom slučaju tragičnom događaju na ruku je išla činjenica kao se radilo o relativno dubokom potoku, i danu bez znatnijih kretanja zračnih struja. Navedeni slučaj završio je sudskim epilogom. Nepravomoćnom presudom na višegodišnje zatvorske kazne osuđeno je petero rukovodećih ljudi pivovare, a pivovara kao pravna osoba na višemilijunsku novčanu kaznu.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj ovog istraživanja bio je analizirati tragičan slučaj smrtnog stradavanja dvoje radnika tvrtke Portun Ferrum, odnosno, temeljem poznatih relevantnih podataka pokušati iznijeti pretpostavku o tome kako se odvijao slijed događaja koji je prethodio nesreći, za čiji uzrok je bez sumnje bila odgovorna hipoksija. Za analizu je svakako važno istaknuti da je uzorkovanje zraka provedeno prekasno u odnosu na vrijeme samog događaja, i cijelo je vrijeme nakon nesreće bila uključena prisilna ventilacija, što je bitno utjecalo na rezultate analize izuzetih uzoraka zraka. Pravi razlog nastanka hipoksičnih uvjeta na mjestu stradavanja ostati će nepoznanica zauvijek. Također, važno je analizirati organizaciju i koordinaciju vođenja intervencije na ključnim razinama koja je posljedično rezultirala neprepoznavanjem uzroka nesreće. Navedena analiza same nesreće, organizacije i koordinacije sustava, te uspostava učinkovitog sustava nadzora brojnih sličnih lokacija, trebali bi ukazati na eventualnu potrebu prilagođavanja sustava za djelovanje u hitnim situacijama kako bi se prevenirali budući slični događaji.

## **3. MATERIJAL I METODE –**

### **SUSTAVNI PREGLED SAZNANJA O TEMI**

#### **3.1. Tijek tragičnog događaja**

Sve skupa je počelo neobjašnjivo u subotu 18.09.2010. oko 12:15 sati, a jasno je bilo jedino to da je dvoje radnika sišlo u podrumске prostorije zgrade presvući se prije odlaska svojim kućama. Ne zna se koliko vremena je prošlo od otkako su izgubili svijest i umrli, ali vjerojatno se to događalo u minutama. Treći kolega, čim je s ulaza primijetio kako nepomično leže, krenuo je za njima i pokušao je barem jednom od njih pomoći na dnu stubišta, ali kad je osjetio da bi i on mogao izgubiti svijest i da ima dodatne simptome, koje nije kasnije znao precizno objasniti (ali izgleda da se radilo o nadraživanju sluznica dišnih putova), mudro se odlučio na bijeg iz opasnog prostora. Vani je osjetio vrtoglavicu, malaksalost, mučninu i povraćao je, a onda je trenutno proradila solidarnost pa su kolege s posla pozvali nadležne službe od policije, vatrogasaca, hitne pomoći, te interventne ekipe Gradske plinare Zagreb d.o.o. zbog, u prvi mah, sumnje na nekontrolirano istjecanje plina. Prvi je stigao par policijskih službenika, kako je to normalno i uobičajeno, a odmah nakon njih i hitna pomoć. Oni su tijekom razgovora s trećim radnikom u kolima hitne pomoći osjetili simptome stezanja u grlu, pa su svi troje ubrzo otpremljeni u bolnicu. Pretpostavlja se kako su se mogli otrovati samo parama koje su se oslobađale s odjeće radnika. Međutim, nakon medicinske obrade dvoje policajaca je otpušteno još iste večeri jer su njihovi nalazi bili normalni, a simptomi više nisu bili prisutni. Jedino je treći radnik zadržan u bolnici do sljedećeg jutra zbog snižene saturacije kisikom [8].

Zapravo su sve ključne ekipe stigle brzo i svatko se prihvatio svog dijela posla. Interventna ekipa Gradske plinare Zagreb je nešto prije 13 h poslala svojeg djelatnika da ispita u podrumu koncentracije plinova koje oni rutinski mjere u slučajevima sumnje na probleme s korištenjem gradskog plina. On se počeo spuštati polako niza stube pozorno motreći ekran svog mjernog instrumenta, posebno pazeći na koncentracije ugljikova monoksida i metana. U trenutku kad se nalazio na trećoj stubi začuo je prodorni zvuk alarma svog instrumenta zapažajući pritom kako su koncentracije kisika izrazito niske ili skoro nemjerljive, a osjetio je tipične znakove nedostatka kisika, te se kao iskusan čovjek povukao natrag prema izlazu (Tablica 2) [8].



**Tablica 2:** Rezultati mjerenja koncentracija metana, kisika i ugljikovog monoksida izmjereni u trenutku spuštanja stubama koje vode prema podrumskom prostoru kratko vrijeme nakon tragičnog događaja (Mjerni uređaj: Dräger X-am 7000).

Type	Avg.		CH4	O2	CO
Location	1		%LEL	Vof%	ppm
Personal ID	PLINARA		A1=20,00 A2=40,00	A1=19,00 A2=23,00	A1=30,00 A2=60,00
13:35:29			0,00	20,89	0,00
13:35:39			0,20	19,41	0,00
13:35:49			4,40	7,81	0,00
13:35:59			6,00	4,27	0,00
13:36:09			5,50	3,99	0,00
13:36:19			5,30	3,79	0,00
13:36:29			5,70	3,41	0,00
13:36:39			6,00	3,09	0,00
13:36:49			5,90	3,41	0,00
13:36:59			5,50	3,81	0,00
13:37:09			5,80	3,49	0,00
13:37:19			6,50	3,37	0,00
13:37:29			6,10	3,18	0,00
13:37:39			5,60	3,37	0,00
13:37:49			2,50	12,05	0,00
13:37:59			0,40	18,96	0,00
13:38:09			0,00	19,97	0,00
13:38:19			0,00	20,00	0,00
13:38:29			0,00	20,04	0,00
13:38:39			0,00	20,10	0,00

On nije osjetio nikakvo nadraživanje sluznica dišnih putova. Svi rezultati brojnih mjerenja tada i kasnije ostali su u memoriji instrumenta i danas ih se može razmatrati. Naravno da su i vatrogasci ponijeli svoje instrumente, ali su isto tako ponijeli potpunu zaštitnu opremu, koju koriste strogo poštujući sve pisane procedure o ponašanju u sličnim slučajevima. Oni su samoinicijativno obavili brojna mjerenja različitih plinova u krugu od barem 500 m oko objekta, i već tada dokazali da je područje niskih koncentracija kisika ograničeno uzduž Save na dužini od približno 500 m, uglavnom uzvodno od mjesta događaja, ali najniže su koncentracije kisika bile na lokaciji tvrtke Portun-Ferrum d.o.o. Širina područja prema obližnjim trgovačkim centrima bila je ne veća od 200 m. Tako su kod svih obližnjih velikih objekata koncentracije

kisika bile normalne. Niske koncentracije kisika nalazile su se u rupama i udubinama (npr. septičke jame i šahtovi oborinske kanalizacije). Vatrogasci su odlaskom u podrum pokušali snimiti stanje i možda su mogli prekršiti stroge procedure izvlačeći tijela stradalih, ali zbog brojnih razloga oni to nisu smjeli učiniti i postupili su ispravno. Djelatnici Gradske plinare su još uvijek mjerili koncentracije kisika koje su u to vrijeme i dalje bile vrlo niske [8].

Predstavnici javnog zdravstva su stigli odmah po pozivu, jer postoji stalna pripravnost epidemiologa i toksikologa. Epidemiolog je stigao prvi i njegov posao je bio završen u vrijeme pristizanja djelatnika HZTA (tek oko 18 h), koji su nakon toga preuzeli odgovornost za daljnje događaje. Nastavljena su mjerenja kisika, ugljikova monoksida i metana, a tražilo se tko će obaviti mjerenja ugljikova dioksida i uzorkovati zrak na sumnjivim mjestima. Bilo je potpuno jasno da je neki plin ili više njih s visokom molekulskom masom potisnuli kisik iz svih podzemnih prostora i da su dvojica ljudi umrla zbog nedostatka kisika (hipoksija). Zbog toga je bilo važno obaviti daljnja mjerenja i još je važnije bilo obaviti uzorkovanje. U tom času moglo se prihvatiti dvije pretpostavke o razlozima nesreće. Prva je bila da je plin došao površinom zemlje iz nekog neidentificiranog objekta, ali nju su pobijali rezultati mjerenja u okolišu (normalno stanje atmosfere kod svih značajnih objekata u blizini). Djelatnici Gradske plinare su mjerili kisik i na samoj površini zemlje utvrđujući da su mu koncentracije vrlo niske (čak oko 5%), što znači da su za vrijeme izvida još uvijek neki plin ili smjesa teških plinova dolazili površinom zemlje. Druga i najlogičnija pretpostavka je ta da su plinovi došli iz zemlje što će se kasnije i potvrditi. Toksikolozi su uspjeli pozvati dvije ekipe za uzorkovanje, ali su one došle istovremeno i već kasno. Kontaktiran je Zavod za javno zdravstvo Dr. Andrija Štampar glede uzimanja uzoraka iz podrumске prostorije kao i iz šahtova kanalizacijskog sustava odnosno sustava za odvodnju oborinskih voda zbog sumnje na treći, potencijalno opasan, plin., a druga je bila privatna tvrtka Metroalfa d.o.o. Smatralo se da je izrazito važno izmjeriti koncentracije CO<sub>2</sub> u šahtovima obzirom na činjenicu što se već u večernjim satima oko 19 h u podrumu stanje popravilo u tom smislu da je koncentracija kisika bila 21%, dok su CO i metan bili su niskim koncentracijama. Stručnjaci policijskog laboratorija stigli su oko 21 h i izmjerili u šahtovima koncentracije ugljikovog dioksida oko 5%, ali nisu istovremeno obavljena mjerenja koncentracije kisika, što onemogućuje bilo kakav izračun. Uzimanje uzoraka u kasnim večernjim satima (od 22:45-23:20 sati) obavila je tvrtka Metroalfa d.o.o. i predala ih odgovornoj osobi iz ZZJZ Dr. Andrija Štampar. Međutim,

uzorci nisu bili uzeti na predviđenim mjestima (uglavnom šahtovi, gdje su koncentracije kisika oko 19 h bile još uvijek vrlo niske i iznosile su oko 5%), nego prema nalogima policije samo u podrumskom prostoru te u prizemlju glavne zgrade, što se smatra promašajem. Na mjernim mjestima uspostavljene su normalne koncentracije svih konstituenata uključujući CO<sub>2</sub> s koncentracijama od 0,1 %. Dva dana kasnije dobiveni su rezultati mjerenja predanih uzoraka zraka čime se potvrđuje kako nisu nađena nikakva odstupanja od normalne atmosfere, tj. u zraku nisu nađene nikakve strane tvari. Obzirom na lošu koordinaciju odabira mjesta uzorkovanja, ovakvi rezultati su bili očekivani [9].

U nedjelju, 19.09.2010., u prijednevrim satima, u krugu dvorišta tvrtke je održan sastanak s naglaskom na daljnje praćenje koncentracije kisika u podrumskom prostoru i šahtovima oborinske kanalizacije. Međutim, kako je još uvijek bilo nepoznato radi li se prisutnosti trećeg plina koji je istisnuo kisik iz zraka ili ne, odlučeno je od strane HZTA, u svrhu dokazivanja eventualne prisutnosti metilbromida i/ili freona, da mjerenje tih plinova obavi tvrtka "Sanitacija d.d.". Djelatnici "Sanitacije d.d." su ubrzo nakon toga oko 11 h izašli na teren i nakon mjerenja isključili prisutnost metilbromida odnosno freona. Napravljene su i kvalitativne probe Halidnom lampom, čime se dokazalo da nema nikakvih halogeniranih ugljikovodika (uključujući freone i metilbromid) niti u šahtovima, niti ventilacijskim otvorima na zgradi. No, na svim tim mjestima uključujući i zrak iznad tla dolazilo je do promjene boje plamena u crveno. To je ukazivalo na prisutnost nekog plina ili pak na smanjene koncentracije kisika. Inače su dan ranije djelatnici plinare iznad tla na cijelom prostoru dokazivali koncentracije kisika od čak 5%, što je ukazivalo da se nekakav teški plin kretao odmah pri tlu preko dvorišta tvrtke. Međutim, istovremeno je mjerena i koncentracija kisika u podrumskom prostoru i rezultati mjerenja su tada pokazali kako je ona u granicama normalnih vrijednosti kao i u večernjim satima dan ranije. I tvrtka Metroalfa je tog dana oko 18 h obavila uobičajena mjerenja te obavila uzorkovanje zraka. Njihovo terensko mjerenje pokazalo je da je zrak u podrumu jednak vanjskoj atmosferi. Potvrdu da nema onečišćenja zraka dala su i mjerenja Zavoda za javno zdravstvo Dr. Andrija Štampar [9].

Tijekom ponedjeljka 20.09. i utorka 21.09.2010. obavljale su se konzultacije između HZTA, MUP-a, Zavoda za javno zdravstvo Dr. Andrija Štampar te tvrtke Metroalfa d.o.o., a na zahtjev ravnatelja HZTA u utorak su izvršena ponovna mjerenja i uzorkovanje zraka na mjestima gdje su i ranije uzimani. Rezultati analiza na terenu se nisu razlikovali od onih ranijih, a uzorci zraka predani su na analizu u Zavod za javno

zdravstvo Dr. Andrija Štampar. Ravnatelj HZTA je predložio da se proglasi prestanak akutne opasnosti, ali da se mora nastaviti s povremenim provjerama na mjestu gdje se dogodila nesreća [9].

Time se sustav ipak stabilizirao i sve daljnje kontrole i uzorkovanja bili su zapravo rutina. Pokazalo se da profesionalne ekipe poput vatrogasaca, ekipe Gradske plinare, policajaca, hitne pomoći, epidemiologa i toksikologa reagiraju na ispravan i brz način, ali da prateće rijetko hitno potrebne službe trebaju puno više vremena. Istina, ovakvi događaji se zaista događaju rijetko (npr. jednom u dvadeset godina) i teško je biti pripravan u svako vrijeme za njihovu intervenciju, pogotovo zato što pomoćne ekipe nemaju obvezu reagirati u bilo kojem trenutku [8].

### 3.2. Uloga Povjerenstva za nesreće s kemikalijama u razrješavanju slučaja

Uzroke ovakvog događaja izrazito je teško otkriti, pogotovo zbog činjenice kako uzorci zraka nisu uzeti na vrijeme i kako su neka mjerenja obavljena ipak prekasno. Stoga je bilo važno uključiti stručnjake iz različitih institucija kako bi došli do konačne istine. Od prvog trenutka bio je jasan uzrok smrti dvoje ljudi, ali trebalo je doznati zašto su i kako plinovi potražili svoj put iz zemlje prema nesretnom podrumu tvrtke Portun-Ferrum (Slika 6).



**Slika 6:** Fotografija lokacije tvrtke Portun Ferrum d.o.o..

Angažmanom stručnjaka iz Centra za kriminalistička vještačenja Ivan Vučetić, Zavoda za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar i Zavoda za sudsku medicinu Medicinskog fakulteta pokušalo se otkriti što bi bila ona treća ili četvrta tvar, koja je izazivala nadraživanje sluznica dišnih putova, ali vjerojatno nije pridonijela smrti dvojice stradalih. Krizni stožer Ministarstva zdravstva osnovao je 19.09.2010. Povjerenstvo za nesreće s kemikalijama sastavljeno od 5 vrhunskih hrvatskih stručnjaka s različitih područja, od geologa do analitičara. Isto tako, važno je naglasiti kako se u tjednu nakon nesreće izrazito intenzivirala suradnja brojnih institucija i tijela državne vlasti, a razlog tome bio je vrlo jednostavan. Trebalo je razjasniti tijek događaja kako bi se što prije otkrili uzroci nesreće, te kako se nešto slično ne bi ponovilo u budućnosti [8]. Prva sjednica Povjerenstva za nesreće održana je 30.09.2010. pri čemu je predsjednik Povjerenstva prof. dr. sc. Franjo Plavšić uvodno informirao članove o događaju, i iznio postupke pojedinih službi koje su izašle na mjesto događaja, te naveo podatke koji su prikupljeni neposredno nakon samog događaja. Isto tako, informirao je članove Povjerenstva i o ostalim poduzetim koracima i saznanjima u danima nakon nesreće. Nakon kratke rasprave o rezultatima dobivenima analizom uzoraka zraka posebno se raspravljalo o rezultatima analize uzoraka zraka tvrtke ANT d.o.o. vlasnika gosp. Zvonka Habuša i navodnom nalazu fosforovog triklorida i fosfina. Također, predloženo je dodatno geološko ispitivanje navedenog lokaliteta obzirom da su nekoliko dana kasnije, kod drugog povišenog vodostaja rijeke Save, dobiveni dodatni dokazi kako su plinovi došli iz podzemlja. Naime, postojala su svjedočanstva zaštitara susjedne tvrtke «Pionir» o erupcijama plinova pod tlakom, koji su izbijali iz zemlje i širili se okolišem već dan prije nesreće. Geolog kao član Povjerenstva, detaljno je objasnio vjerojatni slijed događaja u trenucima nesreće uzimajući u obzir sve naprijed rečene podatke i svoje iskustvo. Iako nije sigurno jesu li ugljikov dioksid i metan geološkog podrijetla, ili su nastali razgradnjom mogućeg zakopanog opasnog i drugog otpada, sigurno je da ih je iz podzemnog džepa potisnula podzemna voda povezana uz nagli rast razine vode u rijeci Savi. Ti plinovi su nosili sa sobom druge kemikalije iz mogućih ilegalnih odlagališta otpada, ali one vjerojatno nisu imale značajnog utjecaja na smrtno stradanje dvojice ljudi. Barem jedna od tih kemikalija isticala se kao mogući dokaz da su plinovi došli iz onečišćenog podzemlja. Riječ je o dimetil-disulfidu, čija je prisutnost kasnije tijekom obdukcije potvrđena u uzorcima pluća i mozga jednog smrtno stradalog radnika, ali ne i kod drugog. Međutim, treba, isto tako, reći kako dimetil-disulfid nastaje u procesima truljenja (raspadanja) tijela pa je vjerojatnije da se takav nalaz kod samo jedne osobe podudara s podmaklim truležnim

promjenama tog tijela u odnosu na drugo, stoga je diskutabilna njegova eventualna prisutnost u zraku podrumskog prostora u vrijeme nesreće. Svakako je bitno spomenuti kako su beživotna tijela ondje ležala nekoliko dana na tlu koje je bilo poplavljeno vodom, sve dok nije proglašen prestanak akutne opasnosti nakon čega je policija konačno mogla ući i obaviti uviđaj, a tijela nakon toga prevesti na obdukciju [8].

Povjerenstvo za nesreće je, obzirom na činjenično stanje vezano uz rasvjetljavanje ove nesreće, na kraju sjednice donijelo nekoliko zaključaka. Uočeno je kako sustav odlučivanja i djelovanja u trenutku nesreće nije funkcionirao, jer je takva vrsta događaja izrazito rijetka te se za tako nešto vrlo teško pripremiti. Bilo bi dobro da je u to vrijeme bilo stručnjaka za uzorkovanje u pripravnosti koji bi vrlo brzo mogli izuzeti uzorke zraka za analizu. Međutim, neracionalno je plaćati stalnu pripravnost za uzorkovanje u bilo kojem vremenu, kad je učestalost takvih događaja jednom u deset ili dvadeset godina. Isto tako, uzorci za kvantitativnu analizu sastava zraka izuzeti su prekasno u odnosu na vrijeme nesreće kao i činjenice da je od tada do uzorkovanja, i kasnije, bila uključena ventilacija podrumskog prostora što je direktno utjecalo na rezultate analize. Povjerenstvo je prihvatilo analitička izvješća dobivena nakon kontinuirano provedenih uzorkovanja kroz slijedećih 5 dana nakon nesreće, u kojima nisu pronađene nikakve razlike u sastavu zraka u odnosu na normalnu atmosferu kroz cijelo vrijeme praćenja. Isto tako, povjerenstvo je odbilo rezultate analize uzoraka tvrtke ANT iz razloga koji će biti navedeni u nastavku ovoga rada [10].

Temeljem unaprijed navedenog Povjerenstvo za nesreće je iznijelo nekoliko prijedloga koji bi mogli doprinijeti rješavanju ovog slučaja, te pojednostaviti djelovanje u budućim sličnim situacijama. Prije svega uvidjela se potreba stručnog osposobljavanja vatrogasnih djelatnika za uzorkovanje zraka, vode, itd. u mogućim budućim sličnim događajima na način da se izrade jednostavne pisane procedure za vatrogasce. Isto tako, potrebno je izraditi plan geoloških istraživanja na širem području gdje se dogodila nesreća. Cilj je bio otkriti i analizirati moguće ostatke plinova u podzemlju i potvrditi ili opovrgnuti pretpostavku o divljim odlagalištima otpada. Nadalje, potrebno je bilo ostvariti punu suradnju s nadležnim službama u Ministarstvu zaštite okoliša i prirode s ciljem dobivanja podataka o mjestima zakopavanja opasnog otpada i njegovim vrstama [10].

### **3.3. Slučaj obmane javnosti od strane odgovorne osobe tvrtke ANT d.o.o.**

Samo dan nakon prve sjednice Povjerenstva za nesreće, održana je i druga s temom vezanom uz aktivnosti djelatnika, kao i vlasnika, tvrtke ANT poduzetih u slučaju tragičnog događaja u tvrtci Portun Ferrum d.o.o. Naime, razlog održavanja sjednice bio je slučaj koji se dogodio dva dana nakon tragičnog događaja kada su dvoje suvlasnika tvrtke Portun Ferrum d.o.o., tražeći putem interneta instrument kojim bi se mogla vršiti ispitivanja kakvoće zraka, pronašli tvrtku ANT d.o.o. s kojom su, uplašeni za zdravlje svojih radnika, i dogovorili mjerenja na cijelom području svoje tvrtke. U popodnevnim satima 20.09.2010. djelatnik tvrtke ANT je došao na lokaciju, obavio mjerenja zadržavajući se pritom na lokaciji nepunih sat vremena. Prema izjavi jednog od suvlasnika tvrtke mjerio je vanjsku atmosferu na lokacijama tvrtki Portun Ferrum d.o.o. i Pionir d.o.o. u šahtovima, ispuštima i sl., instrumentom kojeg je s lakoćom držao u rukama približne veličine papira A4 formata, govoreći pritom cijelo vrijeme mjerenja kako je sve u redu. Međutim, nekoliko dana kasnije u razgovoru s g. Habušom dobivaju informaciju kako su dodatnom analizom dobivenih podataka pronađena dva spoja, fosfin i fosforov triklorid, i kako će detalje saznati slijedeći dan u emisiji Hrvatska uživo (datum emitiranja 28.09.2010.). Na primjedbu jednog od suvlasnika tvrtke kako bi bilo korektno da se izvješće o rezultatima ispitivanja prije objave u javnost preda naručiocu i policiji, g. Habuš odgovara kako on to nije dužan učiniti [10].

Sutradan, u emisiji na HTV-u uz g. Habuša, gostovao je i predsjednik Povjerenstva za nesreće koji je spomenute rezultate mjerenja vidio na kratko 5 minuta prije ulaska u studio na snimanje emisije te je ustvari za debatu bio potpuno nepripremljen. Unatoč toj činjenici prihvatio je gostovanje tijekom kojeg je upozoravao g. Habuša na brojne nelogičnosti i netočnosti u njegovom izlaganju. Nekoliko dana nakon emisije u komentaru na izvješće o mjerenjima tvrtke ANT, u kojem se spominje nalaz fosforovog triklorida i fosfina na nepoznatim mjestima na lokacijama tvrtki Pionir i Portun Ferrum, poslanom Kriznom stožeru Ministarstva zdravlja predsjednik Povjerenstva iznio je nekoliko činjenica. Između ostalog, tvrtka ANT u spomenuto vrijeme nije imala ovlaštenja Ministarstva zaštite okoliša i prirode za određivanje koncentracija ovih i sličnih plinova u vanjskom zraku u okolišu stoga je njihov nalaz bezvrijedan te nema nikakve osnove za tvrdnje kako su koncentracije fosfina i fosforovog triklorida na

dan nesreće iznosile više od 1000 ppm. Nadalje, fosforov triklorid je izrazito reaktivan s vodom, i nije se mogao zadržati u vlažnoj atmosferi duže od nekoliko minuta, a sasvim je isključeno da je mogao nepromijenjen izaći iz vlažnog tla. Fosfin kao plin, relativne molekulske mase 34, nije mogao ulaziti u podrumске prostore tvrtke Portun-Ferrum niti se mogao zadržati u okolišu cijela 3 dana nakon nesreće, jer ga je normalno vjetar raznosio na sve strane. To pobijaju i rezultati analiza Zavoda za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar na vezanom sustavu GC-MS u svim danima nakon nesreće. Isto tako, obdukcijom nije nađen edem pluća kao tipična posljedica izlaganja visokim koncentracijama fosfina ili fosforovog triklorida, pa otpada pretpostavka o njima kao uzorku smrti dvojice radnika. Doduše, ne bi se smjelo posve isključiti prisutnost fosfina u atmosferi podruma u vrijeme nesreće, ali odgovor o tome trebala bi dati buduća istraživanja sastava plinova iz podzemlja na lokaciji, kad i ako ona budu provedena.

Obzirom na ovakav tijek događaja, te sumnju Povjerenstva u rezultate analiza tvrtke ANT, predsjednik Povjerenstva za nesreće je zatražio od policije oduzimanje sve dokumentacije vezane uz spomenuta mjerenja i njezinu dostavu stručnjacima radi provjere podataka. Uvidom u dokumentaciju uočeno je kako nije bilo nikakvih pokazatelja da je gospodin Habuš imao standardnu krivulju ili barem standardnu koncentraciju za mjerenje fosfina i fosforova triklorida. Bez standardnih koncentracija nije bilo moguće kvantificiranje rezultata, a gospodin Habuš je dao precizne koncentracije ispod granice detekcije svojeg instrumenta. Njegov instrument je izrađen za mjerenje emisija, a ne imisija, stoga se tako dobiveni rezultati mogu usporediti sa situacijom u kojoj bi npr. domaćica koristila kolnu vagu kako bi izvagala malu količinu šećera ili brašna za kolač. Zbog brojnih nejasnoća, g. Habušu se naložilo da kao vlasnik tvrtke ANT mora policiji predati detaljno izvješće o svojim mjerenjima na lokacijama tvrtki Pionir i Portun Ferrum, ili nekom drugom mjestu. U njemu se moraju navesti podaci o izvoru struje, mjestu i vremenu stabilizacije instrumenta, načinu prijenosa instrumenta po lokaciji, točnim mjestima obavljanja mjerenja i/ili uzorkovanja, svjedocima njegovih postupaka, vremenskom slijedu događaja, ispise svih mjerenja i spektara, način izrade standardne krivulje ili kalibracije sa standardnim uzorcima te druge podatke koje Povjerenstvo eventualno bude tražilo (Slika 7) [11].





**Slika 7:** Satelitski prikaz lokacija tvrtke Portun Ferrum i susjedne tvrtke Pionir Zagreb

## 4. RASPRAVA

Tragičan slučaj smrtnog stradavanja dvoje radnika tvrtke Portun Ferrum, bez sumnje, je jedna od najintrigantnijih nesreća koje su se dogodile u posljednje vrijeme na našim prostorima, čija je moguća etiologija bazirana na realnim pretpostavkama, međutim, potvrdu tih pretpostavki zbog nedostatka dokaza ne će biti moguće imati.

Bio je to po mnogočemu poseban slučaj kod kojeg je u prvim trenucima nakon nesreće vladala konfuzija i evidentna nespремnost službi nazočnih na mjestu nesreće po pitanju procedure djelovanja u smislu vođenja intervencije kad se radi o takvim i sličnim događajima. I ne bi se tome trebalo čuditi jer ovakvi i slični događaji vrlo su rijetki i događaju se eventualno jednom u deset ili više godina.

Da bi o hipoksiji kao uzroku smrti mogla biti riječ zaključilo se već u prvim trenucima po dolasku na mjesto nesreće. Tada je djelatnik Gradske plinare dao na uvid podatke mjerenja koncentracije opasnih i zapaljivih plinova ugljikovog monoksida, metana odnosno kisika, izmjerene prilikom spuštanja niz podrumске stube prema mjestu stradavanja. Koncentracija kisika je alarmantno odudarala od standardnih vrijednosti od oko 21 % volumnog udjela u zraku, strmoglavo je padala kako je on silazio niz stube pri čemu je na pola puta do podrumskih prostora uspio izmjeriti koncentracije koje su bile nešto niže od 5 %. Dalje se nije usudio spuštati iz sigurnosnih razloga. Navedeni oblik hipoksije, obzirom na način i brzinu razvoja, mogao bi se klasificirati u akutni, pa čak i fulminantni, oblik hipoksične hipoksije jer je gubitak svijesti, prema tvrdnjama trećeg preživjelog radnika koji im je pokušao pomoći, nastupio vrlo brzo, a nakon toga uslijedilo je zatajenja centra za disanje i smrtni ishod.

Najlogičnija pretpostavka je bila da su plinovi koji su uzrokovali hipoksiju došli iz zemlje, a to se logički povezivalo s činjenicom da je smrt dvoje ljudi nastupila upravo u vrijeme najvišeg vodostaja Save. Naime, vrijeme tragičnog događaja poklopilo se s periodom intenzivnog kišnog razdoblja koje je trajalo nekoliko dana na širem području sjeverne Hrvatske i Slovenije. Upravo je taj dan bio najavljen dolazak velikog vodnog vala rijekom Savom iz Slovenije. Međutim, sve to je tek trebalo dokazati.

Nažalost, sustav u tom trenutku nije bio spreman za ovakve neočekivane događaje, pa je najveći problem bilo pronaći stručnjake sposobne izmjeriti koncentracije ugljikova dioksida i obaviti uzorkovanje zraka.

Djelatnici Centra za kriminalistička vještačenja Ivan Vučetić su uspjeli doći na vrijeme i pokazati da su koncentracije ugljikova dioksida u slabo provjetravanim šahtovima oborinske kanalizacije bile još uvijek visoke, a u podrumskim prostorima su bile normalne zbog uključene prisilne ventilacije. Upravo ti podaci mjerenja, kao i spomenuti simptomi peckanja i nadraživanja dišnog sustava kod treće preživjele osobe koja je nakon toga hospitalizirana, su ključni za pretpostavku o ugljikovom dioksidu kao plinovitoj komponenti koja je mogla istisnuti kisik iz zraka i uzrokovati hipoksiju sa smrtnim ishodom.

Nadalje, organizacija vođenja intervencije bila je izrazito loša, praktički nije niti postojala, tako da je svaka služba radila za sebe i po svojim propisima. Iskustva Zavoda za toksikologiju i antidoping o postupanju u nesrećama, koje su se događale ranijih godina, sasvim su suprotna. Iako je često bilo nedostataka i propusta, uvijek je postojao zapovjedni lanac i znalo se tko što radi ili treba raditi. Postupcima u nesrećama rukovodila je jedna osoba (bilo da se radilo o zapovjedniku kriznog ili eko stožera, bilo da je to policijski službenik ili pak zapovjednik vatrogasne jedinice koja je izašla na mjesto događaja) i ta je osoba koordinirala sve službe prisutne na mjestu događaja kao i stručne službe koje su sa svojih radnih mjesta, kao eksperti, sudjelovale u rješavanju posljedica nesreće.

Na žalost u ovom slučaju to nije bilo tako i zbog toga se kasnilo u postupcima što je imalo za posljedicu neprepoznavanje uzroka nesreće. Da su uzorci zraka iz prostorija uzeti na vrijeme puno toga bi vjerojatno bilo razriješeno. Iz ovog iskustva se vidi da puno stvari treba popraviti.

Isto tako, problem se javio oko financiranja kemijskih analiza i sličnih postupaka koji se moraju obaviti što je prije moguće. I danas je, nažalost, situacija gotovo identična, međutim, u takvim situacijama prolazi vrijeme a posljedice izmiču kontroli. Je li to uistinu razlog da se ne dođe do istine koja, u svakom slučaju, mora biti poznata kako bi se znalo kako dalje postupati, ali isto tako kako se u budućnosti ne bi ponavljali takvi događaji bez obzira tko je krivac ili ima li ga uopće obzirom da je nesreća posljedica spleta okolnosti uzrokovanih nečim drugim, kao što je to u ovom slučaju bila elementarna nepogoda.

Ovakvi događaji su iznimno rijetki i moglo bi ih se usporediti sa tragičnim slučajevima smrtnih stradavanja ljudi u vinskim podrumima tijekom vrenja mošta ili spomenutim slučajem smrtnog stradavanja muškarca i psa 2007. godine uz potok u neposrednoj blizini Karlovačke pivovare.

Završetkom policijske istrage, te sudskim procesom koji je nakon nje uslijedio, utvrđeno je kako je za smrt dvoje radnika tvrtke kriva loše izvedena ventilacija podrumskih prostora. Osumnjičen je te na kraju i

okrivljen pomoćnik tehničkog direktora tvrtke Termotehničke instalacije zbog toga što je bez ovlaštenja za projektiranje preuzeo narudžbu za postavljanje ventilacijskog sustava tvrtke Portun Ferrum i izradio nacrt ventilacije prema kojoj je izrađena. Naime, usisna cijev ventilacijskog sustava postavljena je samo 30 cm od šahta oborinske kanalizacije, na istoj visini kao odsisna. To je omogućilo ulazak plinovima težim od zraka, koji su se oslobodili iz džepova nastalih tijekom određenog vremenskog perioda u poroznom šljunčanom tlu uslijed naglog podizanja vodostaja rijeke Save, u podrumске просторе i njihovo nakupljanje dovodeći pritom lokalno do drastičnog pada koncentracije kisika u zraku.

#### **4.1. Neka razmatranja o mogućnostima pojave odlagališnih plinova u slučaju smrtnog stradavanja dvoje radnika tvrtke Portun Ferrum d.o.o.**

Razmatrajući tijek događaja obzirom na lokaciju tvrtke, meteorološke uvjete koji su prevladavali tih dana te izjave svjedoka i podatke o koncentracijama kisika u podrumskim prostorima na mjestu stradavanja dvoje radnika, izmjerene od strane djelatnika Gradske plinare kratko vrijeme nakon tragičnog događaja, kao logičan uzrok smrti nameće se već spomenuta hipoksija. Uzroci hipoksije mogu biti različiti, međutim, u ovom slučaju mišljenja sam kako je ona vrlo vjerojatno mogla nastati oslobađanjem odlagališnih (deponijskih) plinova nastalih u šljunčanom tlu, na kojem je smještena tvrtka Portun Ferrum, koje se proteže širokim područjem lijeve i desne obale rijeke Save. Osnovne karakteristike odlagališnih plinova navedene su u uvodnom dijelu specijalističkog rada, a ovdje ću navesti neke činjenice vezane uz širi okoliš tvrtke, kako bi bilo jasnije zašto se upravo oni čine kao najlogičnija pretpostavka.

Činjenica je kako grad Zagreb najvećim dijelom leži na prostranoj naplavnoj ravnici rijeke Save. U geološkom smislu ona je izgrađena od šljunka, pijeska i glinovito-siltoznih taloga, pri čemu prevladavaju pijesci i šljunci. Njih vrlo često nalazimo otkrivene na površini terena, a ponekad su prekriveni glinovito-siltoznim talozima često malih debljina, do najviše 3 metra. Debljine šljunčanih i pjeskovitih slojeva iznose i do nekoliko desetaka metara. Redovito sadrže podzemne vode koje služe za opaskrbu vodom Grada Zagreba. Glinovito-siltozni talozi pri vrhu vodonosnih slojeva slabije su vodopropusni i štite vodonosne slojeve od površinskih (antropoloških) utjecaja.

U prostranom rastresitom i poroznom tlu rijeke Save od Samobora do Rugvice nalazi se više milijardi prostornih metara šljunka i pijeska koji, osim što sadrže velike količine kvalitetne podzemne vode, predstavljaju vrlo kvalitetni građevni materijal.

Vodonosni su slojevi u hidrauličkoj vezi s rijekom Savom. Za vrijeme visokih vodostaja rijeka Sava puni šljunčano-pjeskovite vodonosnike, a za niskih vodostaja podzemne vode iz vodonosnika otječu u rijeku Savu čije korito je dobrim dijelom usječeno u vodonosne slojeve. Dakle postoji stalna dinamika dizanja i spuštanja nivoa vode u podzemlju.

Početak prošlog stoljeća u Zagrebu se snažno razvijala industrija uz koju se neminovno veže i nastanak raznovrsnog otpada. Kako je industrija rasla tako se i povećavala količina i raznovrsnost otpada. S njime se javio i problem njegova zbrinjavanja, posebice onog opasnog.

Istovremeno dolazi do širenja grada. Grade se brojni industrijski i stambeni objekti, te objekti infrastrukture. Za to su potrebne velike količine šljunka i pijeska koji se nekontrolirano vadi na brojnim nelegalnim šljunčarama u neposrednoj blizini grada. Takve šljunčare iskorištavaju građevinski materijal bez ikakvih projekata i uz vrlo loš nadzor. Eksploatacija napreduje do podzemne vode, a vrlo često i dublje tako da se u području eksploatacije stvaraju jezera raznovrsnih površina i dubina. Za vrijeme visokih vodostaja rijeke Save razine jezera se dižu do samog ruba terena, dok se za vrijeme niskih vodostaja razina vode u jezeru spušta pa ona plića mogu i presušiti. Ovaj proces promjene razine jezera je periodički i ponavlja se svake godine u više navrata.

Upravo takve brojne šljunčare predstavljale su, ali i danas predstavljaju, „idealna“ mjesta za „odlaganje“ raznovrsnog, čak i opasnog otpada kojega se svi žele riješiti iz svojih dvorišta.

Širenjem grada s obiju strana riječnih obala takve se divlje šljunčare-jezera, zajedno s otpadom u svojim dnima, zatrpavaju i pretvaraju u nove površine za stambene objekte, industrijske objekte, infrastrukturne objekte, športsko-rekreacijske objekte, itd. Na prvi pogled obavljena je sanacija devastiranih prostora i dobivene su nove visoko vrijedne atraktivne površine za daljnju gradnju. No daleko od očiju, i prepušteni brzom zaboravu, zakopani su i brojni ekološki problemi (često i opasni otpad). Prirodni procesi razgradnje otpada u podzemlju kroz svo to vrijeme se nastavljaju. Obzirom na kolebanje razine podzemne vode zakopani otpad jedan period je u podzemnoj vodi a drugi period iznad vode. Za vrijeme niskih vodostaja podzemni otpad dolazi u dodir s zrakom, pa se tako izmjenjuju aerobni i anaerobni uvjeti. U takvim

uvjetima mogući su najraznovrsniji i najkompleksniji kemijski procesi koji mogu proizvesti široki spektar odlagališnih plinova. Osim toga plinovi mogu izlaziti i iz neispražnjenih plinskih boca koje su vremenom korodirale u podzemlju, iz brojnih bočica raznovrsnih sprejeva u kojima je zaostao freon i sl. Ovako nastali odlagališni plinovi smještaju se u slojeve šljunka koji su iznad razine podzemne vode. Ako na šljunku nema relativno nepropusnog glinovito-siltoznog sloja plinovi mogu izlaziti direktno na površinu. Kako se radi o relativno malim količinama plina on obično ostaje neprimijećen i kao takav nije opasan zbog malih koncentracija i otvorenih prostora (ponekad se znalo čuti od nekih šetača uz Savu kako se katkada osjeti neugodni oštri miris kojem nisu znali uzrok).

U slučajevima kada su slojevi šljunka pokriveni slabije propusnim glinovito-siltoznim pokrovom, plinovi koji nastaju iz pokopanog otpada sele se lateralno od mjesta nastanka u bezvodne dijelove šljunčanih slojeva. U slučaju dugotrajnijih niskih vodostaja plinova ima sve više i više, šireći se lateralno sve dalje i dalje ispunjavajući na taj način porozne prostore u šljunku. U šljuncima je poroznost izuzetno velika i to plinovima omogućava veliku mobilnost.

Prilikom polaganog porasta podzemnih voda dolazi i do polaganog potiskivanja plina prema mjestima gdje on, sada već pod tlakom, može polagano izlaziti na površinu bez značajnijih posljedica za ljude.

Međutim, na sličan način kao i tokom vulkanske aktivnosti ili na mjestima termalnih izvora, u ovom slučaju najvjerojatnije je na oslobađanje odlagališnih plinova iz podzemlja djelovala poplava. Zbog naglog rasta vodostaja rijeke Save i brzog punjenja vodom slojeva šljunka i pijeska, može doći do naglog i koncentriranog istjecanja plina (čak do erupcije plina koja je viđena u lokvama vode u dvorištu susjedne tvrtke Pionir kao pojava „gejzira“). Jedan dio tako oslobođenih plinova, u čijem sastavu prevladava ugljikov dioksid što je naknadnim mjerenjem i utvrđeno, krećući se iznad površine tla obzirom da je teži od zraka dospio je u podrumске prostore te istiskivanjem kisika iz okolnog zraka uzrokovalo smrt gušenjem dvoje radnika tvrtke Portun Ferrum d.o.o.

Upravo se ovaj zadnji scenarij čini najrealnijim, a tome u prilog govore slijedeći podaci:

1. Podrumski prostor zgrade tvrtke Portun Ferrum u kojem je došlo do smrtnog stradavanja dvoje radnika nalazi se u blizini rijeke Save
2. On je ukopan u šljunčane slojeve

3. Odvodnja oborinskih voda najvjerojatnije se obavlja na način da se one koncentrirano upuštaju u šljunke.
4. Uzvodno od objekta postoji i postojalo je više lokacija gdje se iskorištavao šljunak (to je vidljivo iz starijih karata i avionskih snimaka).
5. Moguće je da je u njima nekontrolirano odlagan otpad (ili barem u nekim)
6. Širenjem grada i potrebom za novim građevinskim površinama većina od tih „divljih“ šljunčara i odlagališta zatrpavani su raznovrsnim materijalom (građevinski i drugi otpad, zemlja iz iskopa i dr.).
7. Nesretnom događaju prethodio je nagli dolazak vrlo visokog vodnog vala što je rezultiralo vrlo brzim punjenjem šljunčanih slojeva vodom, naglim dizanjem vodostaja i prijenosom tlaka kroz podzemlje što je rezultiralo potiskivanjem i koncentriranjem plinova te njegovim naglim istjecanjem ili čak erupcijom na „najslabijim“ mjestima.
8. Za vrijeme svih ovih događaja vladali su uvjeti sniženog tlaka zraka i dugotrajnog intenzivnog kišnog razdoblja.

Kako bi se potvrdio ponuđeni scenarij, osim dokaza iznesenih u sudskoj presudi vezanih uz lošu izvedbu ventilacijskog otvora, zbog kojeg je plin mogao dospjeti u podrumске prostore, nužno bi bilo istražiti podzemlje u području zatrpanih šljunčara. Treba načiniti detaljni program istraživačkih radova, mjerenja i opažanja na terenu, analize sedimenata, plinova i eventualnog otpada. Nakon interpretacije dobivenih rezultata potrebno je stvoriti učinkoviti sustav za nadzor i istraživanje brojnih sličnih lokacija u području toka rijeke Save (na kojima su izgrađene stambene zgrade i industrijski objekti), kako bi se mogli predvidjeti i spriječiti eventualni budući slični događaji.

## 5. ZAKLJUČCI

1. Nepobitno je sigurno kako je smrt oba radnika uzrokovana prvenstveno hipoksijom zbog potpunog nedostatka kisika, što je nekoliko dana kasnije potvrđeno i obdukcijom.
2. Može se zaključiti da je u podrumskom prostoru zgrade Portun-Ferrum d.o.o. došlo do naglog potiskivanja kisika plinom težim od zraka, a isto se dogodilo u manjoj mjeri u šahtovima oborinske kanalizacije te septičkim jamama tvrtke i susjednim kućama uzvodno od tvrtke. Sigurno je dokazano da je taj plin sadržavao u određenoj koncentraciji ugljikov dioksid, ali nije sigurno je li postojao još neki plin teži od zraka.
3. Uzorkovanje je obavljeno prekasno, jer se nije moglo dobiti ni jednu ovlaštenu osobu za obavljanje tih poslova sve do noćnih sati prvog dana, a do tada se stanje izmijenilo i u podrumu i drugim podzemnim objektima (šahtovi i septičke jame). Između ostalog, nije bilo jasno tko smije i treba platiti obavljanje takvih poslova. Time je izgubljena svaka nada da će se saznati koji plinovi su zapravo potiskivali zrak iz podzemlja.
4. Kao što nije jasno što je po sastavu bio kobni plin, tako nije sasvim jasno niti od kuda i kako je došao. Postoje indicije da se širio površinom zemlje te da je došao s divljih odlagališta otpada po principu opisanom u uvodnom dijelu specijalističkog rada, ali za to ne postoje čvrsti dokazi.
5. Uvidjela se potreba stručnog osposobljavanja vatrogasnih djelatnika za uzorkovanje zraka, vode, itd. na način da im se izrade jednostavne pisane procedure kako bi izuzeti uzorci bili vjerodostojni, što bi u budućim sličnim situacijama povećalo vjerojatnost otkrivanja uzroka nesreća.
6. S ciljem prevencije budućih sličnih događaja poželjno bi bilo izraditi plan geoloških istraživanja kompletnog područja priobalja rijeke Save, u dijelu toka koje protječe kroz grad Zagreb, te nakon toga stvoriti učinkoviti sustav nadzora brojnih sličnih lokacija.



## 6. LITERATURA

1. Jain KK. Textbook of hyperbaric medicine. 5th ed. Hypoxia. Chp. 5. Hogrefe & Huber Publishers, Göttingen; 2009, str. 38-46.
2. Rác O, Nišitar F, Kovacs L, Kona E, Dombrovský P. COMPENDUM OF GENERAL PATHOLOGICAL PHYSIOLOGY. Šafarik University Košice. Faculty of Medicine; 1995, str. 106-123.
3. Misasi RS, Keyes JL. The pathophysiology of hypoxia. Crit Care Nurse. 1994;14(4): str. 55-64.
4. Agency for Toxic Substances Disease Registry (ATSDR): Chapter 2: Landfill Gas Basics. 2008. In Landfill Gas Primer - An Overview for Environmental Health Professionals. [http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill\\_2001\\_ch2mod.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill_2001_ch2mod.pdf)
5. Marquardt H, Schäfer SG, McClellan R, Welsch F. Toxicology. Elsevier Inc., ISBN: 978-0-12-473270-4; 1999, str. 811-812.
6. Langford NJ. Carbon Dioxide Poisoning. West Midlands Poisons Unit, City Hospital, Birmingham, UK; 2005, str. 229-233.
7. Baxter PJ, Kapila M, Mfonfu D. Lake Nyos disaster, Cameroon, 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? British Medical Journal, London WC1H 9JR; 1989, str. 1437-1441.
8. Plavšić F. Sažeta analiza događaja o tragičnom slučaju Portun-Ferrum. Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping; 2010
9. Plavšić F, Gretić D. Izvješće o izvidu povodom slučaja smrtnog stradavanja dvoje radnika u podrumskim prostorima tvrtke Portun-Ferrum d.o.o., Priobalna 15, Susedgrad-Zagreb; 2010
10. Plavšić F. Zapisnik sa 1. sjednice Povjerenstva za nesreće s kemikalijama. Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping; 2010
11. Plavšić F. Izvješće o mjerenjima tvrtke Ant d.o.o. Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping; 2010

## 7. ŽIVOTOPIS

### OSOBNİ PODACI

**Ime i prezime:** Davor Gretić

**Datum i mjesto rođenja:** 11. studenog 1974. godine. Zagreb, Hrvatska

**Adresa:** Zagrebačka 66, 10313 Graberje Ivaničko

**Telefon:** 01 2820 078; 091 5764 554

**e-mail:** [dado1400@gmail.com](mailto:dado1400@gmail.com)

### OBRAZOVANJE

1993. – 2001. Farmaceutsko – biokemijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1989. – 1993. Srednja škola „Ivan Švear“, Ivanić Grad; smjer: Matematičko-informatički

### RADNO ISKUSTVO

2006. – sada Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping

2004. – 2006. INA Industrija nafte d.d.

2003. – 2003. Medical Intertrade d.o.o.

2002. – 2003. Opća bolnica "Sveti Duh"

### DODATNI PODACI

Franjo Plavšić / Zdravko Lovrić / Alka Wolf Čoporda / Irena Zorica Ježić Vidović / Daniela Čepelak  
Dodig / Davor Gretić / Saša Đurašević; ZAŠTO I KAKO POVEĆATI SIGURNOST PRI RADU S  
OPASNIM KEMIČKIJAMA, Zagreb, 2014.

Franjo Plavšić / Zdravko Lovrić / Alka Wolf Čoporda / Irena Zorica Ježić Vidović / Daniela Čepelak  
Dodig / Davor Gretić / Saša Đurašević; SIGURAN RAD S KEMIČKIJAMA, 2014.